

**UNIVERSIDADE NOVA DE LISBOA**

**FACULDADE DE CIÊNCIAS E TECNOLOGIA**

Departamento de Ciências e Engenharia do Ambiente

# **Evolução da ocupação e da perda de solo numa pequena sub-bacia da Bacia Hidrográfica do Rio Sado**

Vanessa Amaral Silva

Dissertação apresentada na Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade  
Nova de Lisboa para a obtenção do grau de Mestre em Engenharia do Ambiente,  
Perfil Gestão de Sistemas Ambientais

Orientadora: Professor Doutor Teresa Calvão

Co-Orientadora: Doutora Evelina Brigitte Moura

Lisboa 2009



# Agradecimentos

Expresso o meu mais sincero agradecimento a todos quanto, pela sua colaboração, profissionalismo e amizade, quer de uma forma directa ou indirecta, tornaram possível a concretização da presente dissertação.

Em primeiro lugar, à minha orientadora, Prof. Maria Teresa Calvão, expresso o meu agradecimento pelo apoio e estímulo que sempre manifestou no decurso do trabalho, pela paciência demonstrada perante as dúvidas que foram surgindo. No decurso do trabalho, o seu entusiasmo, as suas ideias e propostas, o encorajamento que sempre me soube transmitir, os ensinamentos e acompanhamento e a leitura atenta e críticas valiosas ao trabalho escrito foram ajudas valiosíssimas, sem as quais esta dissertação sairia certamente mais pobre.

Em segundo lugar, à minha co-orientadora Evelyn Pereira pela disponibilidade e pela resolução sempre atempada das inúmeras dúvidas colocadas.

À Eng. Maria Teresa Pimenta da Administração da Rede Hidrográfica do Tejo pela disponibilização de material e pelas sugestões e conselhos que foram muito profícuos.

Ao Eng. José Álvaro Peixoto, pelo encorajamento que sempre me soube transmitir, o seu entusiasmo e ideias sugeridas.

Ao meu tio Jorge, por me ter proporcionado a oportunidade de frequentar este curso, mesmo implicando certos sacrifícios e restrições, pelo apoio e presença.

Ao meu Pai, que apesar de já não se encontrar presente, sempre se sacrificou e lutou para garantir os meus estudos, sem o qual nunca teria sido possível chegar onde cheguei.

À minha Mãe, pelo apoio incondicional que me deu, que preencheu as diversas falhas que fui tendo por força das circunstâncias, e pela paciência e compreensão reveladas ao longo deste tempo.

À minha amiga e colega de curso Maria Amaro, pela excelente relação pessoal que criámos e que espero não se perca.

A todos muito obrigada!



# Sumário

A análise da ocupação do solo assim como o estudo da sua alteração ao longo do tempo permitem a identificação de áreas críticas em termos de perda de solo, um recurso essencial não renovável. De facto, a nível mundial, a erosão é a principal ameaça para a sustentabilidade e capacidade produtiva do solo.

O estudo do padrão espacial da perda de solo é de extrema importância para o estabelecimento de medidas de preservação, conservação e recuperação do solo, ao mesmo tempo que constitui uma importante base no planeamento e ordenamento do território.

O presente trabalho teve como objectivo a análise da ocupação do solo na Bacia Hidrográfica do Ribeiro do Canas ao longo do tempo e a sua influência na perda de solo sob a forma de erosão laminar, com recurso a um Sistema de Informação Geográfica. A área de estudo corresponde a uma pequena bacia hidrográfica da Bacia Hidrográfica do Sado e o intervalo de tempo em análise a mais de 100 anos.

A perda de solo para as várias datas (1895, 1963, 1990 e 2004/05) foi calculada através da Equação Universal de Perda de Solo. Esta equação foi modelada espacialmente através de *rasters* correspondentes a cada factor de entrada no modelo.

Das alterações ocorridas na ocupação do solo realça-se numa primeira fase um aumento da agricultura e da floresta à custa dos meios semi-naturais, numa segunda fase uma diminuição ligeira da agricultura e um aumento ligeiro da floresta e, numa terceira fase, um decréscimo acentuado da agricultura e um acréscimo acentuado da floresta.

Em relação aos processos de erosão, observa-se um aumento substancial dos valores da perda de solo entre 1895 e 1963, um aumento menos significativo entre 1963 e 1990 e um decréscimo entre 1990 e 2004/05.

# Abstract

Land cover analysis as well as the study of its evolution throughout time enables the identification of critical areas in terms of soil loss, a non-renewable and essential resource. In fact, at a global scale erosion is the most important threat to the sustainability and productive capacity of the soil.

The analysis of soil loss spatial pattern turns out to be very important for the establishment of measures for soil preservation, conservation and recover, as well as it constitutes an important basis for planning and management of the territory.

The present study aims at the analysis of the land cover in the watershed of the Ribeiro do Canas trough time and its influence on the soil loss through sheet erosion, using a Geographical Information System. The study area consists of a small watershed included in the River Sado watershed and the time period selected for analysis corresponds to 100 years.

Soil loss for 1895, 1963, 1990 and 2004/2005 was calculated using the Universal Equation for Soil Loss. This equation was geographically modelled by the use of *rasters*, each one corresponding to a different factor in the model inputs.

In a first period of time the most significant land cover change consisted on a significant increase of agriculture and forest at the expense of semi-natural systems, followed by a slight decrease in agriculture and a slight increase in forest and finally a significant decrease in agriculture and a significant increase in forest.

As regards soil erosion, a significant increase of soil erosion between 1895 and 1963 can be observed, a less significant increase between 1963 and 1990 and a decrease between 1990 and 2004/05.

# Simbologia e notações

ACEL - Associação dos Produtores de Celulose e Papel

CELPA - Associação da Indústria Papeleira

CNIG - Centro Nacional de Informação Geográfica

CNROA - Centro de Reconhecimento e Ordenamento Agrário

COS - Carta de Ocupação do Solo de Portugal Continental

DGRF - Direcção Geral dos Recursos Florestais

IDRHa - Instituto de Desenvolvimento Rural e Hidráulica

IgeoE - Instituto Geográfico do Exército

IGP - Instituto Geográfico Português

MDT - Modelo Digital do Terreno

SCE – Serviços Cartográficos do Exército

SIG - Sistema de Informação Geográfica

SNIRH- Sistema Nacional de Informação de Recursos Hídricos

SROA - Serviço de Ordenamento Agrário

TIN - *Triangulated Irregular Network*

USLE – *Universal Soil Loss Equation*





# Índice de matérias

1	Introdução .....	- 1 -
2	Enquadramento teórico.....	- 3 -
3	Caracterização da área de estudo .....	- 17 -
3.1	Localização geográfica .....	- 17 -
3.2	Caracterização biofísica .....	- 18 -
3.2.1	Caracterização climática .....	- 18 -
3.2.2	Geologia.....	- 23 -
3.2.3	Unidades de paisagem.....	- 24 -
3.2.4	Biogeografia.....	- 26 -
3.2.5	Altimetria .....	- 30 -
3.3	Caracterização da ocupação humana .....	- 30 -
4	Materiais e métodos.....	- 37 -
4.1	Materiais .....	- 37 -
4.1.1	<i>Software</i> utilizado.....	- 37 -
4.1.2	Informação de base .....	- 38 -
4.1.3	Fotointerpretação / Vectorização .....	- 40 -
4.2	Métodos.....	- 41 -
4.2.1	Caracterização biofísica .....	- 42 -
	<i>Morfometria</i> .....	- 42 -
	<i>Altimetria</i> .....	- 44 -
	<i>Declive</i> .....	- 45 -
	<i>Orientação das encostas</i> .....	- 46 -

<i>Humidade do solo</i> .....	46 -
<i>Radiação</i> .....	48 -
<i>Solos e valor ecológico dos solos</i> .....	50 -
4.2.2    Cartas de ocupação do solo .....	52 -
1895 .....	52 -
1963 .....	53 -
1990 .....	53 -
2004/2005 .....	55 -
4.2.3    Evolução espacial e temporal da ocupação do solo (1895-2004/05) .....	56 -
4.2.4    Estimativa da perda de solo através da USLE .....	56 -
<i>Factor Erosividade da Precipitação (R)</i> .....	57 -
<i>Factor Erodibilidade do Solo (K)</i> .....	58 -
<i>Factor de Coberto do Solo (C)</i> .....	59 -
<i>Factor Topográfico (LS)</i> .....	59 -
<i>Factor de Práticas Conservacionistas (P)</i> .....	60 -
<i>Risco potencial de perda de solo</i> .....	60 -
5    Resultados .....	61 -
5.1    Caracterização biofísica .....	61 -
5.1.1    Morfometria .....	61 -
5.1.2    Altimetria .....	62 -
5.1.3    Declive .....	65 -
5.1.4    Orientação das encostas .....	68 -
5.1.5    Humidade do solo .....	70 -
5.1.6    Radiação .....	71 -
5.1.7    Solos e valor ecológico dos solos .....	73 -

5.2	Cartas de ocupação do solo .....	- 77 -
5.2.1	1895 .....	- 77 -
5.2.2	1963 .....	- 79 -
5.2.3	1990 .....	- 81 -
5.2.4	2004/05 .....	- 83 -
5.3	Evolução espacial e temporal da ocupação do solo .....	- 85 -
5.4	Parâmetros biofísicos por classe de ocupação do solo .....	- 88 -
5.5	Estimativa da perda de solo através da USLE .....	- 92 -
5.5.1	Factor Erosividade da Precipitação (R) .....	- 92 -
5.5.2	Factor Erodibilidade do Solo (K) .....	- 95 -
5.5.3	Factor de Coberto do Solo (C) .....	- 96 -
5.5.4	Factor Topográfico (LS) .....	- 101 -
5.5.5	Perda de solo .....	- 102 -
	<i>Evolução da perda de solo</i> .....	- 106 -
6	Discussão .....	- 107 -
7	Conclusões e considerações finais .....	- 111 -
8	Referências bibliográficas .....	- 115 -



# Índice de figuras

Figura 3.1 - Enquadramento geográfico da área de estudo.	- 17 -
Figura 3.2 - Diagrama ombrotérmico referente à estação meteorológica de Alcácer do Sal.	- 20 -
Figura 3.3 - Diagrama de balanço hídrico do solo referente à estação meteorológica de Alcácer do Sal.	- 20 -
Figura 3.4 - Carta da precipitação anual na Bacia Hidrográfica do Sado.	- 22 -
Figura 3.5 - Carta da temperatura média anual na Bacia Hidrográfica do Sado.	- 23 -
Figura 3.6 – Natureza das formações geológicas na Bacia do Sado	- 24 -
Figura 3.7 - Unidades de paisagem da Bacia Hidrográfica do Sado.	- 26 -
Figura 3.8 - Carta biogeográfica da Bacia Hidrográfica do Sado.	- 29 -
Figura 3.9 - Carta da altimetria da Bacia Hidrográfica do Sado.	- 30 -
Figura 3.10 – Fotografia aérea de 1947 de parte da zona de estudo. A ribeira de Santa Susana está representada a azul. A letra vermelha a indica uma encosta cultivada nesta data com cereais.	- 32 -
Figura 3.11 – Ortofotomapa de parte da zona de estudo de 2004/05. A ribeira de Santa Susana está representada a azul. A letra vermelha a mostra uma zona de encosta com regeneração natural da vegetação nesta data mas que apresentava cultivo de cereais em 1947.	- 34 -
Figura 3.12 – Encosta de um trecho da ribeira de santa suzana totalmente desflorestada em 1947 e actualmente revestida por comunidades vegetais próximas da vegetação climática. Notam-se, no meio da vegetação, sobreiros.	- 35 -
Figura 3.13 – Montado com sub-coberto muito degradado, de esteva.	- 35 -

Figura 4.1 – Esquema metodológico.	- 41 -
Figura 5.1 - Rede hidrográfica.	- 62 -
Figura 5.2 - Modelo digital do terreno em formato TIN.	- 63 -
Figura 5.3 - Carta de altimetria.	- 64 -
Figura 5.4 - Áreas relativas (%) das diferentes classes de altimetria.	- 65 -
Figura 5.5 - Carta com zonas com declive igual a zero e diferente de zero.	- 66 -
Figura 5.6 - Carta de declives (%) reclassificada em seis classes.	- 67 -
Figura 5.7 - Áreas relativas (%) das diferentes classes de declive.	- 68 -
Figura 5.8 - Carta de orientação das encostas reclassificada em cinco classes.	- 69 -
Figura 5.9 - Áreas relativas (%) das diferentes classes de orientação das encostas.	- 69 -
Figura 5.10 - Carta do índice de humidade do solo reclassificado em seis classes.	- 70 -
Figura 5.11 - Áreas relativas (%) das diferentes classes do índice de humidade do solo.	- 71 -
Figura 5.12 - Carta da radiação solar global reclassificada em cinco classes.	- 72 -
Figura 5.13 - Áreas relativas (%) das diferentes classes de radiação solar global.	- 73 -
Figura 5.14 - Áreas relativas (%) das diferentes ordens dos solos.	- 74 -
Figura 5.15 - Valor ecológico dos solos.	- 76 -
Figura 5.16 - Áreas relativas (%) das diferentes classes de valor ecológico dos solos.	- 77 -
Figura 5.17 - Carta de ocupação do solo em 1895.	- 78 -
Figura 5.18 - Áreas relativas das diferentes classes de ocupação do solo em 1895.	- 78 -
Figura 5.19 - Carta de ocupação do solo em 1963.	- 80 -
Figura 5.20 - Áreas relativas (%) das diferentes classes de ocupação do solo em 1963.	- 80 -
Figura 5.21 - Carta de ocupação do solo em 1990.	- 82 -
Figura 5.22 - Áreas relativas (%) das diferentes classes de ocupação do solo em 1990.	- 82 -
Figura 5.23 - Carta de ocupação do solo em 2004/05.	- 84 -

Figura 5.24 - Áreas relativas (%) das diferentes classes de ocupação do solo em 2004/05.-	84
-	
Figura 5.25 - Evolução da área relativa das três classes de ocupação do solo mais representativas.	- 86 -
Figura 5.26 - Evolução da área relativa das cinco classes de uso do solo com menor representatividade.	- 87 -
Figura 5.27 - Altimetria por classes de ocupação do solo.	- 89 -
Figura 5.28 - Declive por classes de ocupação do solo.	- 89 -
Figura 5.29 - Orientação de vertentes por classes de ocupação do solo.	- 90 -
Figura 5.30 - Humidade por classes de ocupação do solo.	- 91 -
Figura 5.31 - Radiação global por classes de ocupação do solo.	- 92 -
Figura 5.32 - Erosividade da precipitação ( $r$ ) expressa em $\text{mj.mm.ha}^{-1}.\text{h}^{-1}.\text{ano}^{-1}$ .	- 94 -
Figura 5.33 - Histograma do <i>raster</i> relativo à erosividade da precipitação ( $\text{mj.mm.ha}^{-1}.\text{h}^{-1}.\text{ano}^{-1}$ ).	- 94 -
Figura 5.34 - Erodibilidade dos solos ( $\text{t ha h ha}^{-1} \text{mj}^{-1} \text{mm}^{-1}$ ).	- 95 -
Figura 5.35 - Histograma do <i>raster</i> relativo à erodibilidade do solo ( $\text{t ha h ha}^{-1} \text{mj}^{-1} \text{mm}^{-1}$ ).	- 96
-	
Figura 5.36 - Factor coberto do solo ( $c$ ) para 1895.	- 97 -
Figura 5.37 - Histograma do <i>raster</i> relativo ao factor coberto do solo ( $c$ ) para 1895.	- 97 -
Figura 5.38 - Factor coberto do solo ( $c$ ) para 1963.	- 98 -
Figura 5.39 - Histograma da imagem correspondente ao factor coberto do solo ( $c$ ) para 1963.	- 98 -
Figura 5.40 - Factor coberto do solo ( $c$ ) para 1990.	- 99 -

Figura 5.41 - Histograma da imagem correspondente ao factor coberto do solo (c) para 1990.	- 99 -
Figura 5.42 - Factor coberto do solo (c) para 2004/05.	- 100 -
Figura 5.43 - Histograma da imagem correspondente ao factor coberto do solo (c) para 2004/05.	- 100 -
Figura 5.44 - Factor topográfico (ls).	- 101 -
Figura 5.45 - Histograma do <i>raster</i> relativo ao factor topográfico (ls).	- 102 -
Figura 5.46 – Risco potencial da perda de solo.	- 103 -
Figura 5.47 - Perda de solo para as várias datas em análise ( $t\ ha^{-1}ano^{-1}$ ).	- 105 -
Figura 5.48 - Evolução da perda de solo média para a área de estudo.	- 106 -





# Índice de tabelas

Tabela 4.1 - Informação de base utilizada.	- 38 -
Tabela 4.2 - Classes de declive (%)	- 45 -
Tabela 4.3 - Classes do índice de humidade do solo.	- 48 -
Tabela 4.4 - Classes consideradas referentes à radiação solar global.	- 49 -
Tabela 4.5 - Correspondência entre as classes da legenda original da carta agrícola (1895) e a legenda usada no presente estudo.	- 53 -
Tabela 4.6 - Correspondência entre as classes da legenda original da carta agrícola e florestal (1963) e a legenda usada no presente estudo.	- 54 -
Tabela 4.7 - Correspondência entre as classes da legenda original da carta de ocupação do solo (1990) e a legenda usada no presente estudo.	- 55 -
Tabela 4.8 – Factor de erodibilidade referente a cada família de solos.	- 58 -
Tabela 4.9 – Factor de coberto do solo para cada classe de ocupação do solo.	- 59 -
Tabela 5.1 - Características morfométricas da bacia hidrográfica do ribeiro do canas.	- 61 -
Tabela 5.2 - Áreas relativas das diferentes famílias de solos.	- 74 -
Tabela 5.3 – Precipitação anual dos postos pluviométricos envolventes da bacia.	- 93 -

# 1 Introdução

A ocupação do solo de maneira desordenada e com recurso a técnicas desajustadas acarretam danos significativos ao meio ambiente, sendo uma das consequências graves a perda de solo, recurso natural fundamental, não renovável.

O presente trabalho pretende dar um pequeno contributo para a compreensão das mudanças que ocorreram ao longo do tempo na ocupação do solo de uma pequena bacia hidrográfica e sua influência na perda de solo por erosão laminar.

A presente dissertação encontra-se estruturada nos seguintes oito capítulos:

No capítulo 1 apresenta-se uma síntese do tema em análise, os objectivos e a estrutura e organização da dissertação.

No capítulo 2 faz-se um enquadramento teórico sobre os processos de erosão principalmente no que diz respeito à erosão laminar. Para a concretização deste capítulo efectuou-se uma revisão da literatura existente sobre o tema em análise.

No capítulo 3 procede-se a uma caracterização da área de estudo em termos biofísicos e de ocupação humana.

A metodologia seguida no presente estudo é apresentada no capítulo 4, onde se faz referência aos materiais e métodos utilizados para a produção dos resultados.

No capítulo 5 apresentam-se os principais resultados obtidos.

Os resultados do estudo são discutidos no capítulo 6.

No capítulo 7 são apresentadas as conclusões e considerações finais, onde estão referidas as dificuldades encontradas e as limitações bem como uma proposta de recomendações e desenvolvimentos futuros para uma melhor consolidação dos resultados.

As referências bibliográficas citadas no presente estudo são apresentadas no capítulo 8.

## 2 Enquadramento teórico

A sociedade humana, na expectativa de promover qualquer forma de desenvolvimento para uma região, seja urbana ou rural, sempre causou impactos no meio ambiente em que vive, tanto biótico como abiótico. Um dos exemplos desses impactos ambientais é o uso inadequado do solo e dos recursos hídricos, a desflorestação, os problemas relacionados com a erosão dos solos, poluição e contaminação com agrotóxicos tão nocivos à saúde do homem e demais seres vivos que compõem os ecossistemas terrestres. O fenómeno da erosão dos solos é considerado um problema grave com inúmeras consequências ambientais.

A erosão pode ser definida como o fenómeno de desgaste, remoção e redistribuição de partículas do solo, causadas pelo vento, animais, água e pelo homem (Samouco, 1998). Em condições normais, a erosão é um processo natural, normalmente gradual e lento. Geralmente, verifica-se uma condição de relativa estabilidade, em que a destruição do solo pela erosão natural é efectuada a uma taxa igual ou inferior à formação de novo solo. No entanto, a exploração/uso do solo pelo homem conduz a uma aceleração dos fenómenos de erosão. Normalmente, a ocorrência de fenómenos erosivos acelerados não produz efeitos alarmantes, excepto nos casos em que o homem explora os recursos do solo, em seu proveito, causando a ruptura do equilíbrio natural (Oliveira e Costa, 1978).

A erosão torna-se mais acentuada quando o homem destrói a vegetação que protege o solo.

O fenómeno de arrastamento dos constituintes do solo, como resultado de uma inadequada intervenção humana, é designado por erosão antrópica.

No caso do espaço rural, o problema relacionado com a erosão dos solos corresponde a um dos aspectos que tem preocupado muito os agricultores, pois a perda de solos tende a aumentar à medida que o uso do solo se realiza na ausência de práticas e técnicas específicas necessárias à sua conservação. A erosão do solo provocada pela lavoura resulta da destruição das camadas mais superficiais do solo através da acção mecânica, sendo considerada a principal causa de deterioração da terra, o que levou ao abandono das áreas mais declivosas. A intensificação do uso agrícola, com recurso a maquinaria pesada, fez com que se cultivasse em profundidade, em direcção perpendicular às curvas de nível (Kosmas *et al.*, 2008).

Calouro (2000) aponta como alguns factores de destruição do solo o abate de florestas e o corte raso de arbustos, o pastoreio intensivo, nomeadamente de gado bovino, que come a planta até às raízes e calca o terreno, impedindo a sua regeneração, o cultivo de monoculturas que esgotam muito rapidamente os minerais do solo, o uso de técnicas agrícolas inadequadas, como a deficiente rotação das culturas, a exploração intensiva das terras e a forma de lavrar terrenos inclinados;, a substituição da floresta por árvores de crescimento rápido, como o eucalipto.

O presente estudo focaliza a atenção no impacto directo das gotas de chuva no solo e no consequente escoamento superficial. Na Europa, estima-se que cerca de 92% da área afectada pela erosão corresponde à erosão hídrica (Kirby *et al*, 2004).

De acordo com Cardoso (1998), factores como a precipitação, gelo, degelo e escoamento superficial exercem uma acção directa na estrutura do solo, causando a desagregação, o destacamento e a separação das partículas do solo, isto é, erosão hídrica. A quantificação da erosão hídrica assume particular importância no que respeita ao planeamento e gestão dos recursos hídricos e à gestão ambiental. Em climas mediterrânicos o escoamento superficial e a erosão hídrica são em grande parte devidos a eventos extremos de precipitação, que estão na origem de situações mais graves como cheias e erosão em ravinas. Variações sazonais de temperatura e precipitação influenciam a magnitude das consequências de determinado evento extremo. Estas alterações também produzem efeitos no balanço hídrico e na produtividade agrícola do solo.

Segundo Gobin (2003) as práticas agrícolas insustentáveis, sobreexploração das terras e gestão deficiente dos recursos hídricos e da irrigação são as principais causas da erosão acelerada do solo, especialmente na Europa de Leste. Nas zonas mediterrânicas e, em Portugal em particular, os fogos florestais têm exercido uma forte contribuição para a erosão do solo. O turismo e os transportes têm igualmente contribuído para o fenómeno da erosão em determinadas regiões. Aproximadamente 17% da área total da Europa está afectada de alguma maneira pela erosão do solo.

Comparando a taxa de formação do solo com a taxa de perda de solo, facilmente se confirma que perdas de solo maiores que  $1 \text{ ton ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$  podem ser consideradas irreversíveis numa escala de tempo de 50 a 100 anos. Na actualidade, em meios mediterrânicos, já ocorrem situações irreversíveis de degradação dos solos. A erosão dos solos também é responsável por um impacto económico, directamente pela perda de áreas agrícolas e indirectamente pelas consequências nas infra-estruturas como destruição de estradas e obstrução de barragens (Tomás, 1992).

As políticas de combate à erosão compreendem uma larga escala de acções que passam pela aplicação de práticas agrícolas sustentáveis, planeamento do uso do solo, de forma a encontrar as culturas mais adequadas para cada área, reclamação de terrenos altamente degradados ou áreas afectadas pela desertificação, reflorestação das áreas das bacias e incentivos que promovam actividades sustentáveis (Kirby *et al.*, 2004).

A identificação das áreas mais vulneráveis à erosão é fundamental para a tomada de consciência da extensão das zonas afectadas pelo problema e para a criação de medidas que possibilitem o seu controlo.

Como foi referido anteriormente, o processo de erosão hídrica ocorre fundamentalmente pela acção da precipitação e do escoamento superficial. Inicia-se pelo destacamento das



partículas do solo, separação das mesmas da sua posição inicial, podendo estas voltar a ser depositadas e destacadas de novo do solo (Cardoso, 1998).

O mecanismo erosivo hídrico actua através de três processos distintos, dando origem a outras tantas formas de erosão que podem ocorrer simultaneamente num mesmo terreno (Cardoso, 1998):

1) O impacto das gotas de chuva provoca a destruição dos agregados do solo, fazendo salpicar as partículas em todas as direcções; no caso de encostas as partículas projectadas no sentido descendente são em maior quantidade, devido à força da gravidade, resultando uma transferência de solo para o sopé da encosta;

2) O escoamento da água sobre as encostas arrasta partículas destacadas pelas gotas de chuva e remove outras;

3) Em zonas declivosas, quando o solo se encontra saturado, o seu peso pode exceder as forças de resistência que mantêm o equilíbrio; nestas circunstâncias podem ocorrer deslizamentos de grandes massas de solo;

Aos três processos descritos correspondem, respectivamente, três tipos de erosão hídrica:

### Erosão laminar

É a forma mais comum de erosão em zonas de chuva fraca ou medianamente intensa, Consiste numa erosão lenta, em que ocorre uma remoção razoavelmente uniforme de partículas em toda a superfície do solo. Aos poucos, os solos são destituídos das suas camadas superficiais, as mais férteis, tornando-se mais claros, devido ao desaparecimento da matéria orgânica e surgindo manchas estéreis. A acção desta forma de erosão é selectiva, arrasta as partículas mais finas, restando a areia grossa e os elementos grosseiros. Dá-se frequentemente em encostas de declive e relevo uniformes, principalmente em terrenos de sub-solo impermeável e horizontes superficiais de fraca coesão estrutural (Oliveira e Costa, 1978);

### Erosão em sulcos

Verifica-se devido a pequenas irregularidades de relevo onde se concentra a água de escorrência, acabando por adquirir volume e velocidade suficientes para abrir pequenos sulcos normalmente em número elevado, que podem facilmente destruídos pelas mobilizações do solo(Oliveira e Costa, 1978).

### Erosão em ravinas

Dá-se em locais de grande concentração de água, que cava um sulco, ampliando-o continuamente e acabando por se formar verdadeiros “canhões”, se não forem tomadas as medidas adequadas.

Uma das maiores questões da actualidade no campo da gestão ambiental corresponde à necessidade de quantificar a erosão do solo devida a fenómenos hídricos e à definição das áreas de maior susceptibilidade, onde quer por razões naturais ou por acção das actividades humanas, os índices de perda de solo, por vezes em grandes extensões, tornam-se muito elevados criando problemas de ordem ecológica, económica e social (Oliveira e Costa, 1978).

O modelo de referência para a estimativa do valor resultante da erosão laminar e por sulcos é a Equação Universal de Perda de Solo (USLE), desenvolvida por Wischmeier e Smith em 1978, usando dados de campo recolhidos nos Estados Unidos da América. A USLE é um modelo empírico baseado em relações estatísticas entre os principais factores determinantes da perda de solo (Yue-qing *et al.*, 2009).

Esta equação foi modificada por vários autores. Em 1992 aparece a RUSLE (Equação Universal das Perdas de Solo Revista), que inclui melhoramentos na estimativa de alguns dos parâmetros e um conjunto de dados meteorológicos mais alargado sob a forma de base de dados (Rennard *et al.*, 1997). A USLE refere-se a uma parcela de referência de 22,13 m de comprimento e 9% de declive e que esteja livre de vegetação por mobilização do solo ao longo da linha de maior declive. O valor da erosão geralmente exprime-se por toneladas por hectare por ano (erosão específica).

A USLE é um modelo usado para calcular um valor médio de perda de solo, originada por erosão laminar e por sulcos, correspondente a um período de tempo extenso. Apesar do

modelo ter sido desenvolvido para talhões com uso agrícola, nos Estados Unidos, a sua aplicação foi estendida a outras formas de ocupação do solo. A USLE foi também aplicada a outros locais do mundo (Desmet e Govers, 1996), sendo, no entanto, necessário, um ajuste dos factores de entrada.

A estimativa da perda de solo para um local baseia-se no produto de vários factores:

erosividade da chuva e erodibilidade dos solos, factores relativos à geometria do espaço interfluvial, usos e ocupação do território e práticas agrícolas.

A USLE toma a seguinte forma

$A = R K L S C P$ , onde

A - Perda de solo média ou erosão específica referida à unidade de área, expressa no mesmo sistema de unidades do factor K, respeitante ao período de tempo a que se refere R, expressa usualmente em  $\text{ton} \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{ano}^{-1}$ ;

R - Factor de erosividade da precipitação e do escoamento - representa a capacidade que as gotas de chuva e o escoamento têm para destacar e transportar as partículas de solo, habitualmente expresso em  $\text{MJ} \cdot \text{mm} \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{h}^{-1} \cdot \text{ano}^{-1}$ . Embora seja de difícil cálculo, este factor está correlacionado com a precipitação anual;

K - Factor de erodibilidade do solo, ou susceptibilidade do solo para a erosão - traduz a influência das propriedades do solo (textura, permeabilidade) na resistência à erosão. Os seus valores encontram-se tabelados para os tipos de solo portugueses (Pimenta 1998a, 1998b). Exprime-se em  $\text{ton.ha.h/ha.MJ.mm}$ ;

L - Factor de comprimento da encosta, que corresponde à relação entre a perda de solo ocorrida com o comprimento da encosta considerada e a que ocorreria com um comprimento de 22,13 m, mantendo-se constantes as restantes condições; trata-se de um factor adimensional;

S - Factor de inclinação da encosta, que corresponde à relação entre a perda de solo ocorrida com o declive considerado e a que ocorreria se este fosse de 9%, mantidas as restantes condições; factor adimensional,

C – Factor de cobertura e práticas culturais, definido pela relação entre a perda de solo ocorrida num determinado sistema cultural e aquela que ocorreria num solo mantido nu através de mobilizações; trata-se de um factor adimensional que varia de 0 a 1. Os valores deste factor encontram-se tabelados para os usos de solo em Portugal (Pimenta, 1998a).

P - Factor de práticas conservacionistas, determinado pela relação entre a perda de solo que ocorre para as práticas de laboração do solo conservativas que são realizadas e aquela que

ocorreria se o solo fosse mobilizado segundo a linha de maior declive do terreno; factor adimensional, variando de 0 a 1;

O factor energético R é o índice numérico que exprime a capacidade da chuva em provocar erosão numa área sem protecção vegetal. É representado pelo índice de erosividade EI30, e é calculado com base no produto da energia cinética da precipitação pela sua intensidade máxima em 30 minutos. O índice de erosão médio anual (factor R) é calculado através da soma de todos os acontecimentos pluviosos que ocorreram ao longo do ano.

Wischmeier e Smith (1978) defendem que os acontecimentos pluviosos são separados por intervalos mínimos, sem precipitação, de seis horas. Estes autores acrescentam, que só devem ser considerados valores de precipitação superior a 12,5mm para o cálculo do índice EI30.

A energia cinética da chuva por unidade de precipitação pode ser deduzida pela seguinte relação empirica (Foster *et al.*, 1981):

$$e = 0,119 + 0,0873 \cdot \log_{10}(I); I \leq 76 \text{ mm.h}^{-1}$$

$$e = 0,263; I > 76 \text{ mm.h}^{-1}$$

em que,

e= energia cinética da precipitação, em  $\text{MJ.mm}^{-1}$ ;

I= intensidade da precipitação, em  $\text{mm.h}^{-1}$ ;

A energia cinética total de chuvadas é obtida através do produto dos valores de energia cinética por unidade de precipitação pela respectiva altura de precipitação desses períodos, que posteriormente são somados para a totalidade do evento. No entanto, o cálculo do índice EI30 torna-se bastante moroso, para além da dificuldade na obtenção de dados que exprimam a variação temporal da precipitação.

Para a determinação do factor R é necessária a obtenção de informação detalhada acerca dos valores de intensidade de precipitação. No entanto, a informação sobre estações meteorológicas-padrão é praticamente existente, o que justifica a necessidade de adoptar uma simples aproximação para a determinação deste factor. Por vezes, a melhor solução, passa pela utilização de correlações entre o factor R e dados meteorológicos disponíveis.

O factor de erodibilidade do solo é definido como a taxa de perda de solo por unidade de factor energético da chuva. Representa a influência das características do solo sobre a perda de solo durante os eventos de tempestade (Renard *et al.*, 1997). Estes processos consistem o destacamento e transporte das partículas do solo, pela acção erosiva da chuva e escoamento superficial, seguido de deposição localizada devido à rugosidade do terreno. A erodibilidade do solo depende do teor em argila, areia e matéria orgânica e da estrutura e permeabilidade do solo. O factor erodibilidade do solo (K) é geralmente estimado através do nomograma proposto Wischmeier *et al.* (1978) e publicado por Foster *et al.* (1981).

No entanto, apesar destas equações serem eficazmente aplicáveis na maior parte dos EUA (para o qual foi originalmente desenvolvida a USLE), produzem resultados pouco fiáveis quando aplicados aos solos com valores extremos de textura e em solos agregados (Römkens *et al.*, 1986). O que significa, que eles não reproduzem idealmente as condições europeias.

O factor comprimento da encosta e o declive (L e S, respectivamente) contabilizam o efeito da topografia na erosão do solo. Estes factores exercem uma grande influência na perda do solo, pois quanto maior for a sua extensão, maior a velocidade de escoamento.

Muitas vezes estes dois factores (factores de comprimento e de declive) são combinados num único factor conjunto (LS) que pode ser considerado como uma medida da capacidade de transporte de sedimentos por escoamento superficial (Lencastre e Franco 2003):

$$LS = \lambda (0.0011s^2 + 0.00776s + 0.0111)$$

O factor combinado LxS de uma encosta representa a taxa de perda de solo por unidade de área, relativamente à que ocorreria numa encosta com um comprimento de 22,13 m e declive 9%, mantidas as restantes condições constantes. O valor LS é adimensional, apresentando o valor 1 quando a encosta tem as referidas dimensões padrão (talhão de referência). Quanto maior o comprimento da encosta maior será o escoamento superficial.

Com o aumento do declive aumenta a energia da água e, conseqüentemente, a sua velocidade de escoamento e portanto a sua capacidade erosiva (Kouli *et al.*, 2009).

Na USLE a equação original para o cálculo de LS era a seguinte:

$$LS = \left( \frac{\lambda}{22.13} \right)^m (0.065 + 4.56 \sin \beta + \sin^2 \beta)$$

em que  $\lambda$  é o comprimento da encosta,  $\beta$  é o declive expresso em graus (transformado em radianos) e m é um expoente que depende do declive.



Com o advento dos SIG foram desenvolvidas, por diferentes autores, relações para a estimativa dos factores L, S e LS. (Moore e Burch in Moore and Wilson (1992):

$$LS = \left( \frac{As \cdot C}{22.13} \right)^m = \left( \frac{\sin \beta}{22.13} \right)^p$$

em que  $\beta$  é o declive calculado em graus e transformado em radianos, m e p são dois expoentes empíricos, que tomam geralmente o valor 0.4 e 1.3. , As é a área drenante e C o tamanho do pixel. A área drenante (designada de área específica por alguns autores) para o ponto (pixel) i, por unidade de secção ( $m^2.m^{-1}$ ) é o número de células que contribuem para o fluxo que atinge esse pixel.

O factor C é definido como a relação entre a perda de solo em terrenos com uma vegetação específica e as perdas correspondentes de um terreno mantido em regime de pousio (Wischmeier e Smith, 1978). O factor de técnica cultural procura reflectir a influência das culturas agrícolas no fenómeno da erosão. A cobertura vegetal protege os terrenos da erosão devido ao facto das folhas das plantas promoverem a diminuição da energia da chuva por absorção da mesma. Assim, o seu valor depende da cobertura vegetal e práticas de gestão. Uma área sem protecção de cobertura vegetal é geralmente mais susceptível à erosão, em comparação com uma área coberta por vegetação. O seu efeito dependerá do tipo e fase do crescimento da vegetação associada à sequência de culturas e respectivas práticas de conservação (Bertoni e Lombardi Neto, 1993).

A estimativa da perda de solo, de origem natural ou antrópica , é essencial, para avaliar a produtividade agrícola, identificar pressões e priorizar intervenções necessárias no sentido da sua preservação. Deste modo, a utilização do modelo USLE no cálculo da erosão laminar,

assume ser uma ferramenta eficaz ao possibilitar a contextualização dos resultados obtidos em função do uso e ocupação do solo.

### 3 Caracterização da área de estudo

#### 3.1 Localização geográfica

A área de estudo seleccionada para o presente trabalho corresponde à Bacia Hidrográfica do Ribeiro do Canas, uma sub-bacia da Bacia Hidrográfica do Rio Sado, localizada na sua parte setentrional (Figura 3.1). Trata-se de uma pequena bacia hidrográfica (5335 ha) que corresponde a cerca de 0.8% da Bacia do Sado. O Ribeiro do Canas é uma ribeira subsidiária da Ribeira de Santa Catarina de Sítimos, por sua vez um afluente da margem direita do Sado.



Figura 3.1 - Enquadramento geográfico da área de estudo.

A área de estudo foi seleccionada por ser a área mínima comum a toda a informação cartográfica disponível que configurava uma bacia hidrográfica completa. Foi escolhida como unidade de estudo uma bacia hidrográfica uma vez que é a unidade por excelência para a compreensão dos processos naturais bem como das influências antropogénicas na paisagem. Por estas razões a bacia hidrográfica deverá também constituir uma unidade chave nos processos de planeamento e gestão do território.

Dispunha de algumas fotografias da primeira cobertura nacional de fotografia aérea, realizada pela *Royal Air Force* em 1948 (voo à escala 1:30000 destinado a apoiar a série cartográfica 1:25000 dos então Serviços Cartográficos do Exército - SCE). No entanto, as fotografias existentes não cobriam toda a área de estudo e o actual Instituto Geográfico do Exército (IgeoE) não dispunha daquelas necessárias para cobrir toda a bacia hidrográfica.

A área de estudo encontra-se localizada, na quase totalidade, na Freguesia de Santa Susana, Concelho de Alcácer do Sal, Distrito de Setúbal.

## **3.2 Caracterização biofísica**

Nesta parte do trabalho faz-se uma caracterização da área de estudo especialmente no que diz respeito ao seu enquadramento na Bacia Hidrográfica do Sado.

### **3.2.1 Caracterização climática**

A caracterização climática foi efectuada recorrendo aos dados da estação meteorológica de Alcácer do Sal, estação com dados disponíveis nas “Normais Climatológicas da região de

«Alentejo e Algarve»” (Instituto Nacional de Meteorologia e Geofísica, 1991), considerada representativa da área de estudo.

A repartição da precipitação ao longo do ano e a variação anual da temperatura são elementos essenciais e indissociáveis no estudo da distribuição das comunidades vegetais à superfície da Terra. Diversos estudos constataram que, quando o valor da precipitação é duas vezes inferior ao valor da temperatura, a actividade vegetativa das plantas pára (a não ser que a planta tenha acesso a um lençol freático), ou seja, está-se perante um período considerado ecologicamente seco.

Uma forma de caracterizar as relações entre aqueles dois parâmetros climáticos é através dos diagramas termopluviométricos ou diagramas ombrotérmicos. Nestes gráficos a escala da Precipitação é dupla da escala da Temperatura, pelo que a intersecção da curva da Temperatura com a curva da Precipitação vai definir zonas no gráfico:

- quando a curva da Precipitação está localizada acima da curva da Temperatura, está-se perante um mês ecologicamente considerado húmido;
- quando a curva da Precipitação está localizada abaixo da curva da Temperatura, está-se perante um mês ecologicamente considerado seco.

Os Diagramas de balanço hídrico do solo complementam os diagramas ombrotérmicos e permitem observar a evolução da disponibilidade de água no solo ao longo do ano: recarga, saturação, uso das reservas e situação de défice.

A elaboração do diagrama ombrotérmico e do diagrama de balanço hídrico do solo foram realizados com recurso ao *Web Site* “Worldwide Bioclimatic Classification System”

(<http://www.globalbioclimatics.org/>) com base nos seguintes parâmetros: Precipitação Mensal, Temperatura Média Mensal, Temperatura Média das Máximas Mensais, Temperatura Média das Mínimas Mensais, Temperatura Máxima Mensal e Temperatura Mínima Mensal.

Na Figura 3.2 **Error! Reference source not found.** apresenta-se o diagrama ombrotérmico referente à estação meteorológica de Alcácer do Sal e na **Error! Reference source not found.**

Figura 3.3 o diagrama de balanço hídrico do solo.

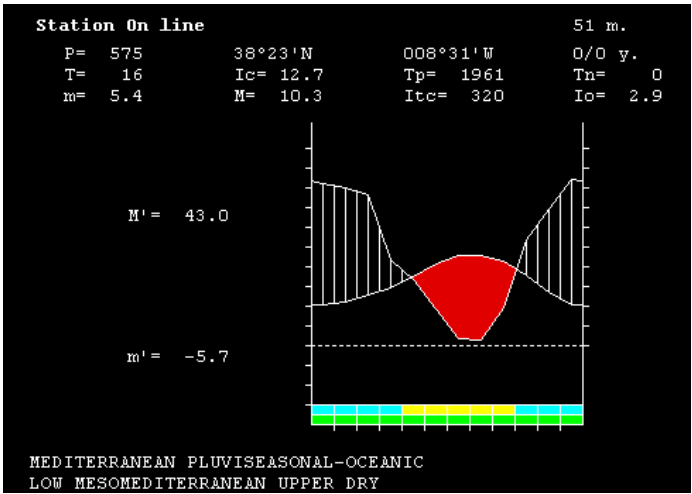


Figura 3.2 - Diagrama ombrotérmico referente à estação meteorológica de Alcácer do Sal.

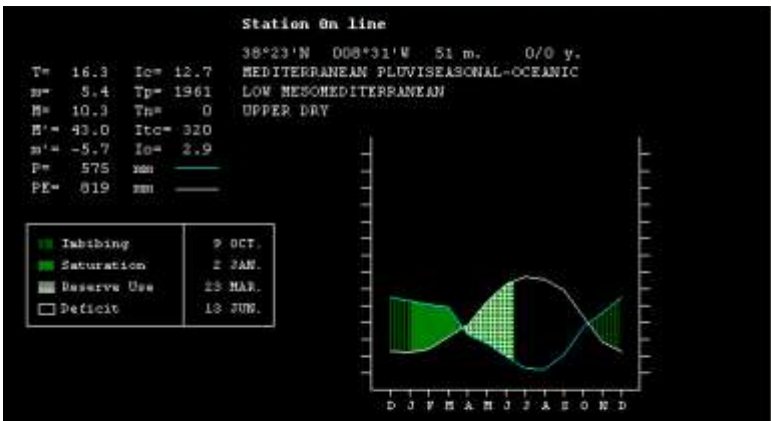


Figura 3.3 - Diagrama de balanço hídrico do solo referente à estação meteorológica de Alcácer do Sal.

A Temperatura Média Anual é de aproximadamente 16.3 °C e a Precipitação Anual de 575 mm. No diagrama ombrotérmico é facilmente identificável a existência de duas estações marcadamente diferentes: uma estação chuvosa que coincide com o período mais fresco (Outubro a Abril) e uma estação seca. A estação seca é longa e bem marcada, estendendo-se por um período que vai de Junho a Setembro. Esta situação é típica do clima de tipo mediterrânico onde os meses secos coincidem com o período estival.

O diagrama de balanço hídrico do solo revela a existência de um período em que há carência hídrica elevada (Verão). Com as chuvas de Outono verifica-se uma recarga das reservas hídricas do solo, ocorrendo saturação durante o Inverno. Na Primavera há utilização da água pelas plantas, o que, conjugado à diminuição da precipitação, provoca uma redução progressiva do teor de água no solo e posteriormente mesmo uma situação de défice durante o estio.

A água é um dos factores ambientais que maior influência tem na distribuição e constituição das comunidades vegetais. Tão importante como o total anual da precipitação é a maneira como a precipitação se distribui ao longo do ano. Por outro lado, a água disponível para as plantas depende não só da precipitação efectiva mas também de outros factores ambientais como sejam o tipo de solo e o declive.

Na Figura 3.4 apresenta-se a Precipitação Anual na Bacia do Sado (540-772 mm). Pode verificar-se a existência de uma zona central com baixos valores da precipitação, ladeada a Nordeste e Oeste por zonas com valores mais elevados. A distribuição espacial da precipitação varia com a topografia do terreno, correspondendo as zonas de maiores valores

da precipitação a zonas de maior altitude. A área de estudo apresenta uma gama de valores de Precipitação Anual de 586-650 mm.

A temperatura do ar é um parâmetro climático que tem grande importância a nível biológico, uma vez que tem um efeito decisivo nos processos vitais dos seres vivos. A distribuição das comunidades vegetais naturais e das plantas cultivadas está estreitamente dependente deste parâmetro.

No que diz respeito à Temperatura Média Anual ocorrem valores mais elevados na zona central da Bacia do Sado, enquanto que as zonas a Nordeste e Sudoeste apresentam, no geral, valores mais baixos (Figura 3.5). A distribuição espacial da temperatura depende essencialmente do parâmetro altitude. Quanto maior a altitude, menor será a temperatura. A Bacia do Sado apresenta uma gama de valores de Temperatura Média Anual de 15.3-17.3 °C e na área de estudo essa gama de valores é de 16.3-17.2 °C.



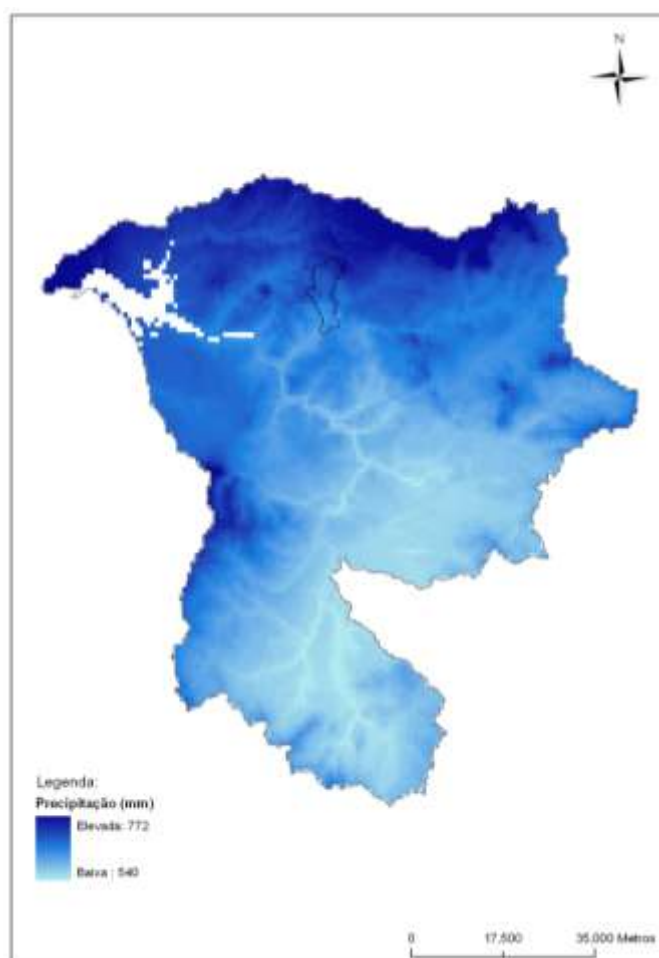


Figura 3.4 - Carta da Precipitação Anual na Bacia Hidrográfica do Sado.  
Fonte: WorldClim (<http://www.worldclim.org/>).

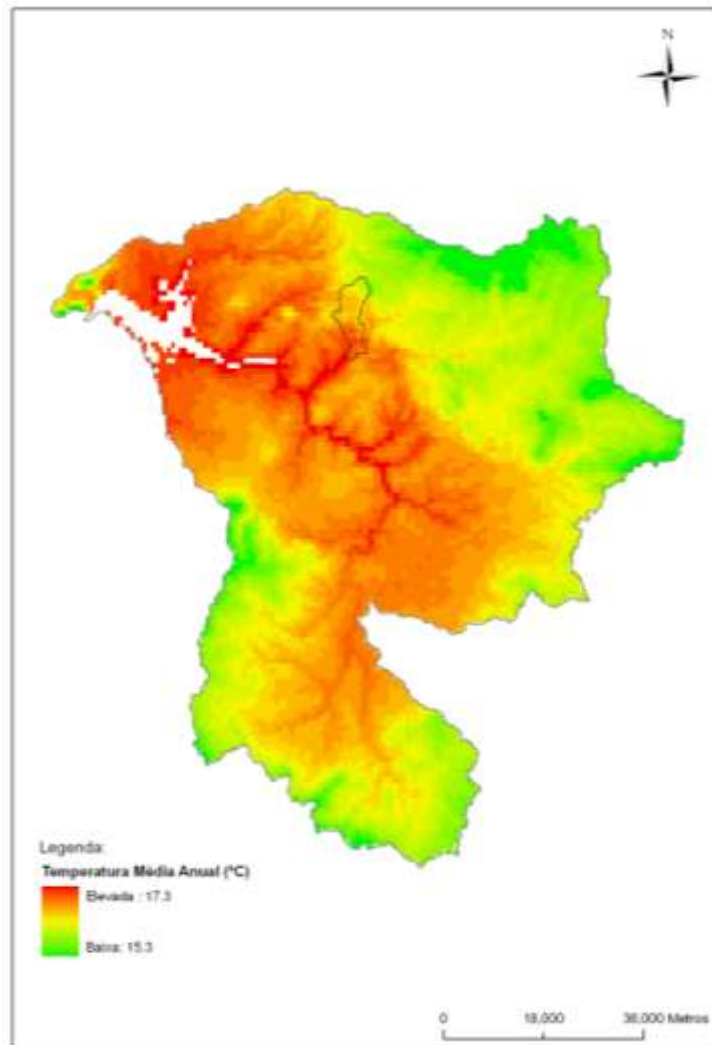


Figura 3.5 - Carta da Temperatura Média Anual na Bacia Hidrográfica do Sado.

Fonte: WorldClim (<http://www.worldclim.org/>).

### 3.2.2 Geologia

Na Figura 3.6 pode observar-se a natureza das formações geológicas da Bacia do Sado.

Dominam formações sedimentares formadas principalmente por xistos, areias e arenitos.

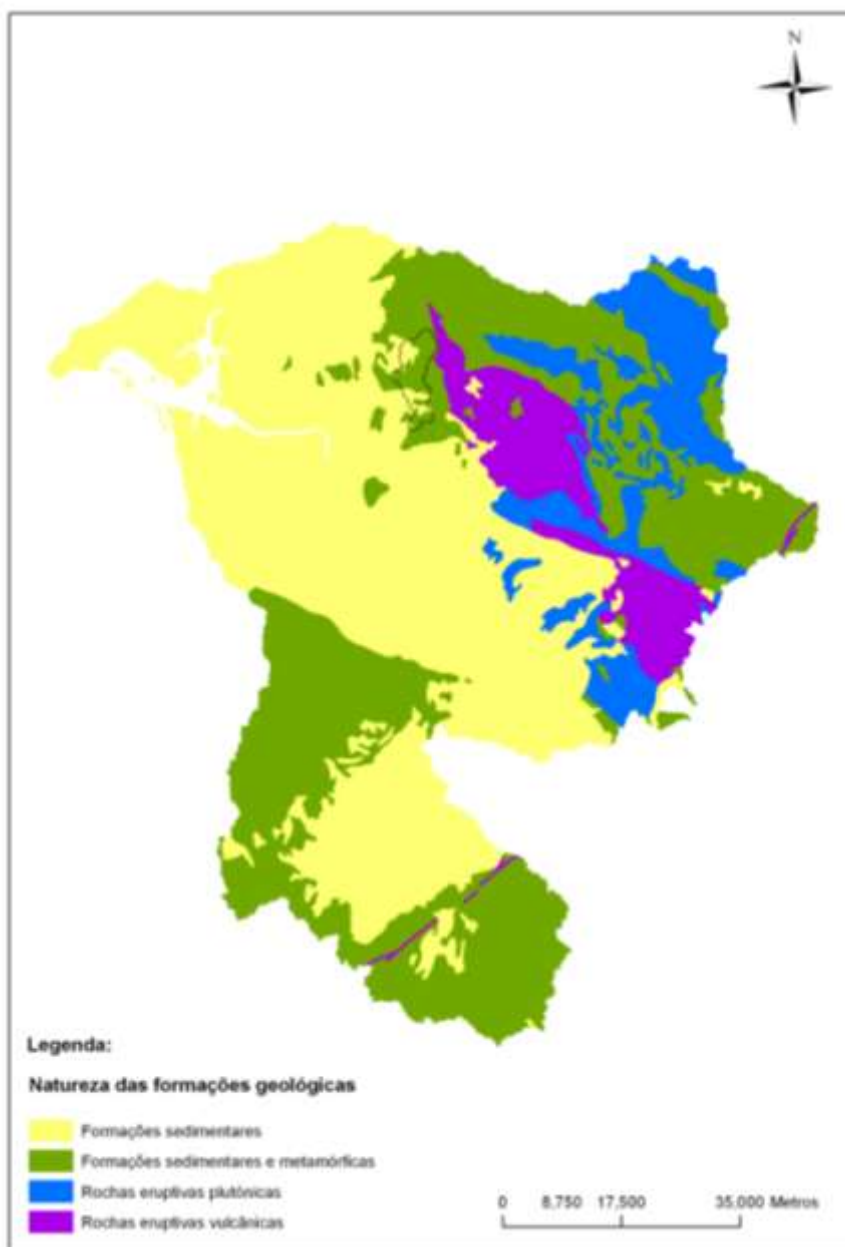


Figura 3.6 – Natureza das formações geológicas na Bacia do Sado

Fonte: Atlas Digital do Ambiente.

### 3.2.3 Unidades de paisagem

Na Figura 3.7 podem observar-se as unidades de paisagem da Bacia do Sado, definidas por Abreu *et al.* (2004). A unidade com maior representatividade é a unidade designada por “Montados da Bacia do Sado”, estando a área de estudo incluída nesta unidade de paisagem. Trata-se de uma unidade relativamente pouco povoada, dominando os centros

urbanos concentrados e de pequena dimensão. Ocorrem ainda montes isolados, dispersos por toda a unidade. Em termos de ocupação do solo predominam os montados de azinho, sobre e mistos, com densidade variável. Nas zonas mais declivosas, onde os montados não são tão intensamente intervencionados, ocorre um sub-coberto mais rico e denso de vegetação arbustiva. As zonas mais aplanadas estão ocupadas por sistemas arvenses de sequeiro e pastagens bem como por reduzidas manchas de olivais. Em muitas linhas de água há troços de galerias ripícolas bem desenvolvidas (Abreu *et al.*, 2004).

Actualmente verifica-se, nesta unidade de paisagem, uma razoável coerência de usos, mas, segundo Abreu *et al.* (2004), a tendência para a expansão das plantações de eucaliptos bem como um crescente abandono das actividades do sector primário poderão comprometer a sustentabilidade desta unidade de paisagem.

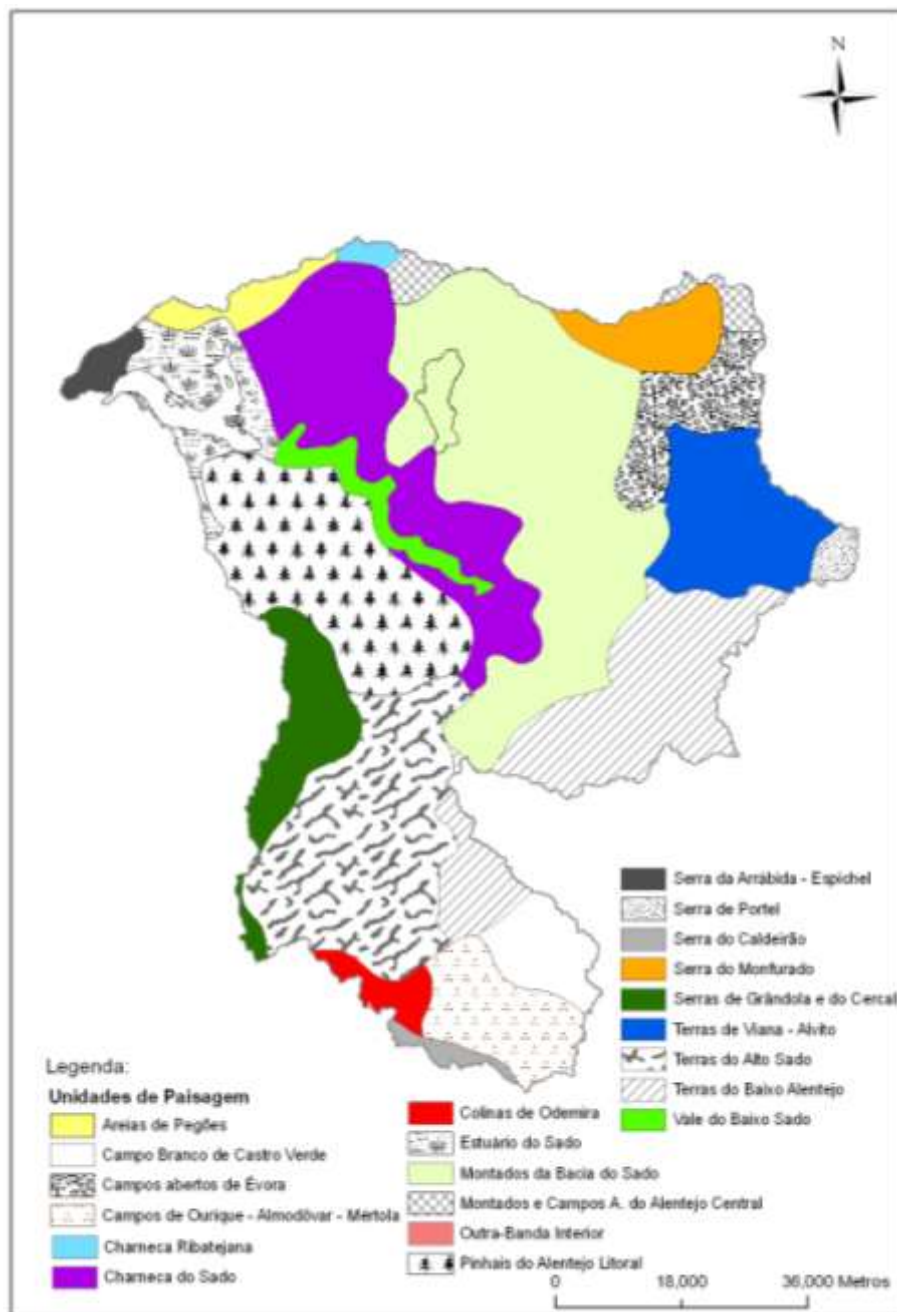


Figura 3.7 - Unidades de Paisagem da Bacia Hidrográfica do Sado.

Fonte: Abreu *et al.*, 2004.

### 3.2.4 Biogeografia

A Biogeografia é um ramo da Geografia que estuda a distribuição dos seres vivos à superfície do planeta, relacionando o meio biológico com o físico. A distribuição das espécies de seres vivos permite dividir a Terra em unidades hierarquizadas, caracterizadas por um conjunto de

espécies que lhes são próprias. As principais unidades são o Reino, a Região, a Província, o Sector, o Distrito, o Mosaico Tesselar e a Tessela. Se necessário, é possível subdividir ou agrupar estas unidades (Costa *et al.*, 1998).

Para uma determinada região uniforme do ponto de vista do substrato geológico, fisiográfico e climático, admite-se que a vegetação evolui, à escala geológica, para um estado estável que corresponde ao máximo de complexidade estrutural, estado designado por clímax local. Esta vegetação potencial (climácica), nas condições ocorrentes no território de Portugal continental, desde que o solo seja normal e tenha uma profundidade suficiente, corresponderá a bosques. No entanto, estes bosques foram, frequentemente, perturbados, sobretudo por acção humana, tendo surgido outras comunidades designadas por etapas de substituição (Costa *et al.*, 1998).

A sequência de comunidades (vegetação potencial e etapas de substituição) dentro de uma unidade de paisagem uniforme é sempre a mesma, e designa-se por série de vegetação (Costa *et al.*, 1998; Costa *et al.*, 2002).

A zona em estudo apresenta o seguinte enquadramento biogeográfico, segundo Costa *et al.* (1998) e Costa *et al.* (2002):

Reino Holártico

Região Mediterrânica

Sub-Região Mediterrânica Ocidental

Superprovíncia Mediterrânica Ibero-Atlântica

Província Luso-Extremadureense

Sector Mariânico-Monchiquense

Subsector Araceno-Pacense

Superdistrito Alto Alentejano  
 Subsector Baixo Alentejano-Monchiquense  
 Superdistrito Serrano-Monchiquense  
 Superdistrito Baixo Alentejano  
 Província Gadiitano-Onubo-Algarviense  
 Sector Ribatagano-Sadense  
 Superdistrito Arrabidense  
 Superdistrito Sadense  
 Superdistrito Ribatagano  
 Sector Algarviense  
 Superdistrito Costeiro Vicentino

Na Figura 3.8 apresenta-se a Carta Biogeográfica da Bacia do Sado. A maior parte da Bacia do Sado encontra-se na Província Luso-Extremadurens (cerca de 70%), apenas 30% se encontra na Província Gadiitano-Onubo-Algarviense. Pode ainda observar-se que a maior parte da bacia está incluída no Superdistrito Baixo Alentejano, seguindo-se por ordem decrescente de importância o Superdistrito Sadense, o Superdistrito Serrano-Monchiquense e o Superdistrito Alto Alentejano. As restantes unidades biogeográficas têm uma representatividade muito baixa. A Bacia do Ribeiro do Canas encontra-se incluída na totalidade no Superdistrito Baixo Alentejano, pelo que apenas será feita uma descrição desta unidade biogeográfica. A série de vegetação climatófila do Superdistrito Baixo Alentejano consiste na série mesomediterrânica seca luso-extremadurens silicícola da Azinheira (*Quercus rotundifolia*). A cabeça de série é o azinhal do *Pyro bourgaeanae-Quercetum*

*rotundifoliae*, actualmente transformado em montado. A primeira etapa de substituição do azinhal é um carrascal, a segunda etapa de substituição um piornal e a terceira um esteval, em solos muito erosionados (Costa *et al.*, 1998; Lobo Ferreira *et al.*, 2001).

Como vegetação ripícola, encontram-se os bosques ribeirinhos constituídos por tamujais que se desenvolvem no leito do rio, salgueirais que ocorrem junto à margem, sob o efeito de águas correntes, choupais que se encontram adjacentes aos salgueirais, amiais contíguos às margens com elevada humidade edáfica e sem secura estival e os freixiais que se desenvolvem na orla do corredor ribeirinho. Quando a vegetação ribeirinha é degradada devido às actividades humanas, ocorrem silvados, juncais e prados (Arsénio *et al.*, 1999).



Figura 3.8 - Carta Biogeográfica da Bacia Hidrográfica do Sado.

Fonte: Atlas Digital do Ambiente.



### 3.2.5 Altimetria

A Bacia do Sado apresenta altitudes moderadas (até 417 m), sendo a altitude média de 156 m. As altitudes compreendidas entre os 50 e os 200m perfazem mais de 50% da área. A zona central da bacia apresenta as menores altitudes, sendo rodeada a nordeste e a sul por zonas de maiores altitudes. A área de estudo, com disposição principalmente Norte-Sul, apresenta uma gama de valores de altitude entre 36 e 210 m.

### 3.3 | Caracterização da ocupação humana

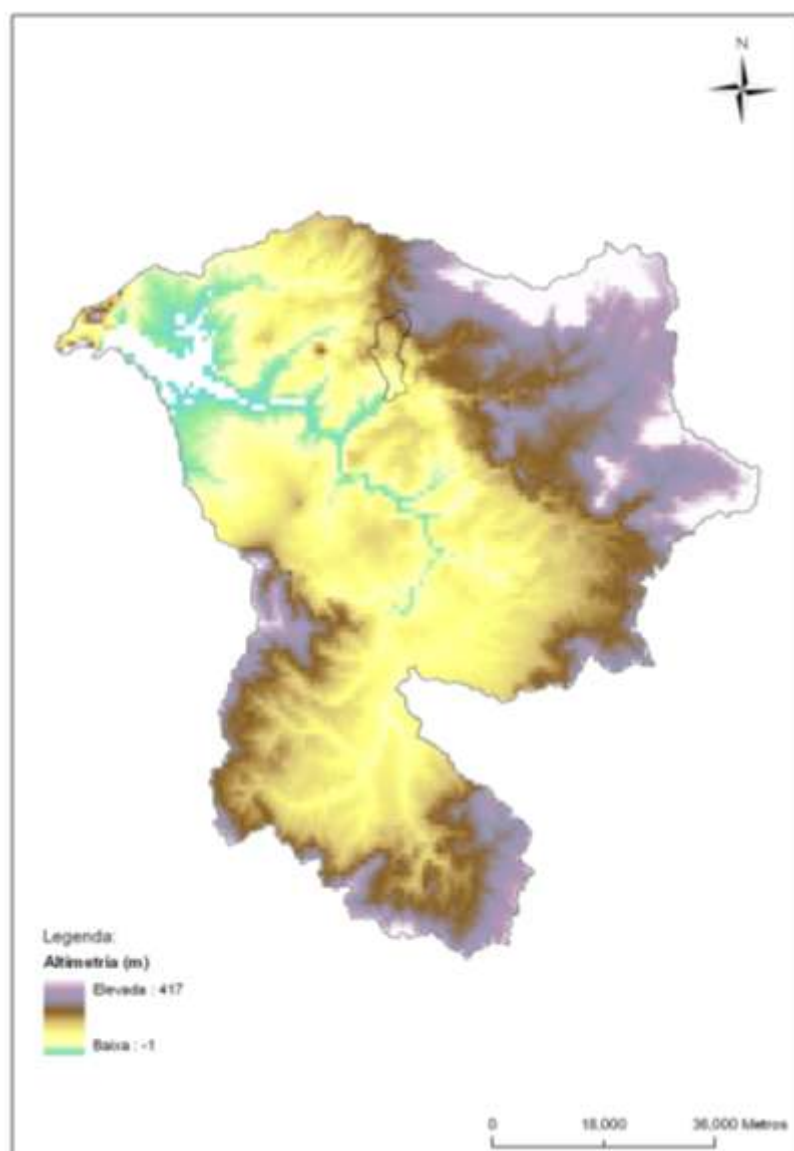


Figura 3.9 - Carta da Altimetria da Bacia Hidrográfica do Sado.  
Fonte: WorldClim (<http://www.worldclim.org/>).

A intervenção humana alterou profundamente a paisagem meridional de Portugal, tendo as formações florestais primitivas há muito desaparecido. A paisagem da zona de estudo, tal como aconteceu com todo o sul do país, sofreu alterações importantes na sua estrutura e composição nos últimos 150 anos. No final do século XIX a matriz da paisagem era essencialmente formada por charnecas e matos (Feio, 1998). A partir desta data vão ocorrer transformações significativas que contribuíram decisivamente para a degradação do solo.

As sucessivas campanhas destinadas a fomentar a produção de cereais, nomeadamente do trigo, na primeira metade do século XX, levaram a um incremento acentuado da área cultivada daquele cereal à custa do cultivo em terrenos não adequados: encostas declivosas, solos rochosos, delgados e de baixa capacidade de infiltração. Tal como refere Feio (1998), num espaço de tempo de cerca de 50 anos as charnecas e matos praticamente desapareceram da paisagem do sul do país, tendo a superfície lavrada duplicado. Estas mudanças estão evidenciadas nas fotografias aéreas de 1947 que, infelizmente, não cobrem toda a área de estudo. Na Figura 3.10, de 1947, verifica-se que mesmo as zonas mais declivosas estavam ocupadas por cereais, restando apenas alguns sobreiros nos cabeços ou em encostas expostas aos quadrantes mais favoráveis para a presença vegetal. Pode ainda observar-se que a vegetação ripícola da Ribeira de Santa Susana foi, em grande parte, destruída, pelo menos os elementos arbóreos e arbustivos mais importantes. Assim, apenas parece existir algum coberto vegetal, de baixo porte, numa faixa próxima da linha de água.

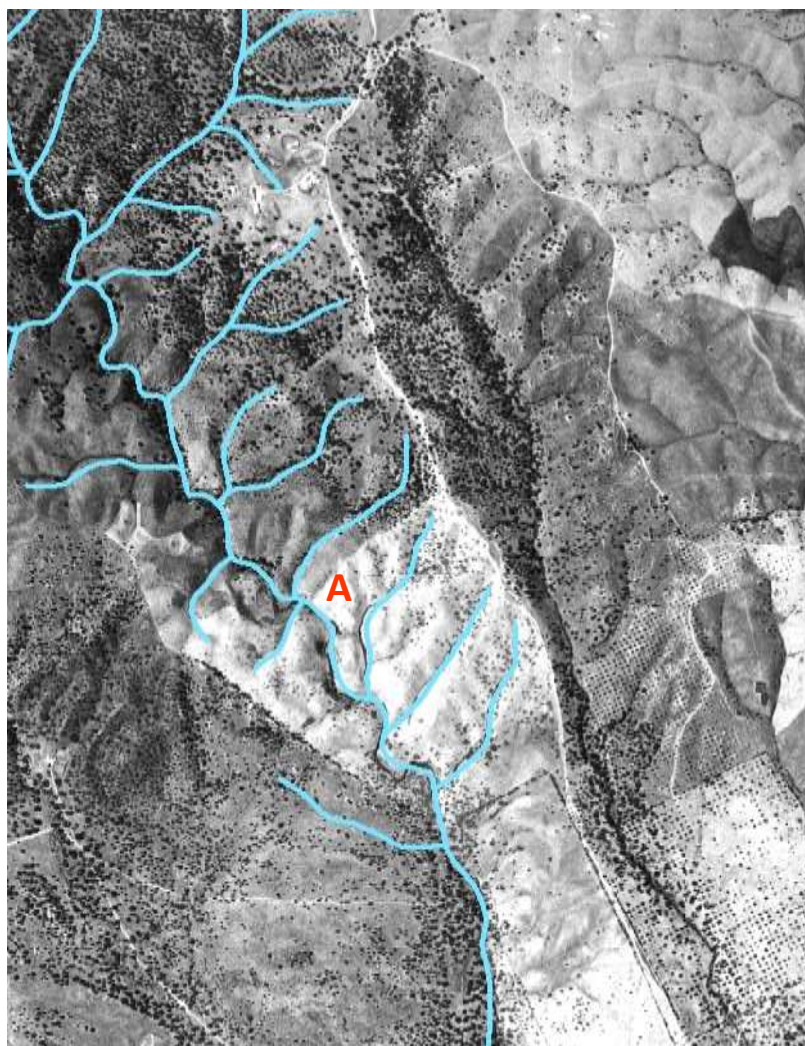


Figura 3.10 – Fotografia aérea de 1947 de parte da zona de estudo. A Ribeira de Santa Susana está representada a azul. A letra vermelha A indica uma encosta cultivada nesta data com cereais.

No entanto, o cultivo de cereais em terrenos inapropriados conduziu a intensos fenómenos de erosão o que em breve espaço de tempo condicionou novas sementeiras e, consequentemente, levou ao abandono dos locais menos adequados para a agricultura ou a sua substituição por outras formas de ocupação. Assim, a Carta Agrícola e Florestal, da década de 50-60, mostra que nas áreas mais declivosas, a agricultura foi substituída por florestas (montados) ou deixada ao abandono, o que levou a uma progressiva recuperação do coberto vegetal. A informação cartográfica posterior a esta data evidencia um abandono

generalizado da agricultura devido à sua baixa rentabilidade e um aumento quer dos montados quer das zonas de vegetação natural em recuperação (sucessão ecológica).

Na década de 70 verifica-se uma forte expansão da cultura do eucalipto. Como, na maior parte dos casos, a implantação dos povoamentos não foi bem conduzida, verificou-se, uma vez mais, a degradação do solo. A partir dos anos 90 há uma tendência para o abandono da cultura do eucalipto, ou, pelo menos, ausência de novos investimentos significativos, devido à baixa rentabilidade económica. De facto, como foi referido na caracterização biofísica, a Precipitação Anual da Bacia do Sado não é elevada, o que condiciona a produtividade dos eucaliptais. Actualmente têm sido efectuadas plantações de Pinheiro Manso, espécie natural da região Mediterrânica, portanto adaptada ao clima da região (Correia e Oliveira, 2002).

Pode observar-se na Figura 3.11 a mesma zona da Figura 3.10 mas em 2004/05. Verifica-se uma recuperação assinalável não só da vegetação ribeirinha como também da vegetação das encostas. O aumento da biomassa e da diversidade estrutural das comunidades vegetais é evidente. Poder-se-á dizer que a vegetação ripícola actualmente constitui uma rede de tipo dendrítico, ancorada à rede hidrográfica da bacia.

Nas zonas mais declivosas já não é praticada agricultura, tendo o coberto vegetal recuperado. Em alguns locais já surgiram mesmo as etapas sucessionais mais próximas do climax da série de vegetação, como sejam os Carrascais (Figura 3.1212). No meio dos Carrascos, Lentiscos, Zambujeiros, Murtas e Troviscos aparecem Sobreiros, alguns já mortos, o que restará dos exemplares cultivados, visíveis na fotografia aérea de 1947. Estes sobreiros não têm um porte elevado pois as condições ambientais não são das mais favoráveis, nomeadamente o declive, o que vai influenciar a espessura do solo e a humidade edáfica. Ou seja, verificou-se, nestes locais, a quase completa regeneração da vegetação mediterrânica,



após a sua total destruição há cerca de 50-60 anos. Estas manchas de vegetação encontram-se espalhadas na matriz da paisagem cultural, desempenhando um importante papel na manutenção da biodiversidade e na protecção do solo contra a erosão. Algumas medidas Agro-Ambientais (Preservação de Maciços de Espécies Arbóreas ou Arbustivas Autóctones) têm como objectivo a recuperação e manutenção deste tipo de comunidades vegetais.

Nos montados, no geral, o sub-coberto está reduzido às etapas sucessionais mais degradadas como sejam os estevais (Figura 3.13).



Figura 3.11 – Ortofotomapa de parte da zona de estudo de 2004/05. A Ribeira de Santa Susana está representada a azul. A letra vermelha A mostra uma zona de encosta com regeneração natural da vegetação nesta data mas que apresentava cultivo de cereais em 1947.



Figura 3.12 – Encosta de um trecho da Ribeira de Santa Suzana totalmente desflorestada em 1947 e actualmente revestida por comunidades vegetais próximas da vegetação climácica. Notam-se, no meio da vegetação, sobreiros.



Figura 3.13 – Montado com sub-coberto muito degradado, de Esteva.



## **4 Materiais e métodos**

Os SIG constituem um conjunto de ferramentas para a recolha, armazenamento, organização, selecção, representação e transformação da informação de natureza espacial. O universo dos SIG possibilita um sem número de aplicações em áreas diversas. As vantagens dos SIG são especialmente evidentes no que diz respeito às suas aplicações aos problemas de ordenamento do território e ambiente, domínios nos quais os aspectos associados à distribuição espacial das ocorrências são essenciais. Assim, os SIG contribuem para uma melhor compreensão dos fenómenos naturais e dos factores que os influenciam bem como procuram dar resposta a questões e conflitos surgidos no âmbito de processos de planeamento e gestão.

A informação relativa à ocupação do solo bem como a sua evolução espacial e temporal é essencial para um desenvolvimento sustentável. Nesta tarefa, a utilização de Sistemas de Informação Geográfica e de detecção remota torna-se bastante útil, na medida em que permite a integração de um vasto conjunto de informações de diferente natureza.

Assim, torna-se possível medir a extensão e distribuição das classes de ocupação do solo, construir cenários de ocupação no futuro e elaborar cartas de erosão do solo.

### **4.1 Materiais**

#### **4.1.1 *Software* utilizado**

Para a consecução do presente trabalho foram usados os seguintes programas informáticos que possibilitam a utilização de funcionalidades SIG: ArcGIS 9.2 (ESRI), ArcView 3.2 (ESRI) e



IDRISI Andes (Clark Labs). O ArcView 3.2, através da extensão *Solar Analyst*, apenas foi usado no cálculo da radiação solar. No IDRISI foram executadas as operações de cruzamento entre as cartas de ocupação do solo das várias datas em análise, com recurso ao módulo *Land Change Modeler*. Todas as outras operações foram efectuadas no ArcGIS 9.2.

#### 4.1.2 Informação de base

Na Tabela 4.1 encontra-se uma síntese da informação de base utilizada no presente estudo.

O IgeoE cedeu informação vectorial correspondente à altimetria (curvas de nível e pontos cotados) das cartas militares 457 e 468, à escala 1: 25000 (curvas de nível de equidistância igual a 10 m). O sistema de coordenadas é Hayford-Gauss/*Datum* Lisboa. Com base nesta informação foi gerada uma Rede Triangular Irregular (*Triangulated Irregular Network – TIN* na terminologia inglesa), que por sua vez serviu de base para a elaboração de um Modelo Digital do Terreno (MDT) na forma de uma matriz regular de cotas e para a determinação de vários parâmetros biofísicos: Altimetria, Declives, Orientação das Encostas, Humidade do Solo e Radiação Solar Global, todos eles em estrutura *raster* de malha quadrangular de 10 m.

Tabela 4.1 - Informação de base utilizada.

Tema	Ano	Produtor/Detentor	Escala/Resolução	Formato
Carta Agrícola (161 e 171)	1895	DGDRural	1:50000	Papel
Carta Agrícola e Florestal (457 e 468)	1963	SROA	1: 25000	Papel
Carta de Ocupação do solo (457 e 468)	1990	CNIG	1: 25000	Vectorial
Ortofotomapas	2004/05	DGRF/IGP	0.5 metros	<i>Raster</i>
Carta de Solos (457 e 468)	-	IHERA	1: 25000	Papel
Curvas de nível e pontos cotados (457 e 468)	-	IgeoE	1: 25000	Vectorial

A caracterização das formas de ocupação do solo foi efectuada para quatro datas: 1895, 1963, 1990 e 2004/05. A Carta Agrícola do final do século XIX (folhas 161 e 171), publicada à escala 1:50000 (Dias, 1999), foi cedida pelo Instituto de Desenvolvimento Rural e Hidráulica (IDRHa) em formato *raster* (imagem). O sistema de coordenadas usado nesta carta é Puissant-Bonne. A Carta Agrícola e Florestal de Portugal foi publicada em 1963 pelo Serviço de Ordenamento Agrário (SROA), à escala 1: 25000 (Dias, 1999), tendo sido usadas duas folhas (457 e 468), em formato analógico (papel), entretanto “rasterizadas”. O sistema de coordenadas é Hayford-Gauss/*Datum* Lisboa. A Carta de Ocupação do Solo de Portugal referente ao ano de 1990 foi elaborada pelo ex-Centro Nacional de Informação Geográfica (CNIG), actual Instituto Geográfico Português (IGP). Esta carta foi publicada à escala 1:25000 em formato digital (vectorial). O sistema de coordenadas usado é Hayford-Gauss/*Datum* Lisboa. As duas folhas utilizadas (457 e 468) foram retiradas da página oficial do IGP na Internet: [http://www.igeo.pt/e-IGEO/egeo\\_downloads.htm](http://www.igeo.pt/e-IGEO/egeo_downloads.htm).

Neste trabalho foram ainda usados 8 ortofotomapas (formato digital *raster*) a cores, com um pixel de 0.5 metros de resolução, de 2004/05, do voo da Direcção Geral dos Recursos Florestais (DGRF)/IGP. O sistema de coordenadas é Hayford-Gauss/*Datum* 73.

A Carta de Solos de Portugal à escala 1:25000 foi publicada pelo SROA/CNROA (Centro de Reconhecimento e Ordenamento Agrário)/IEADR (Instituto de Estruturas Agrárias e Desenvolvimento Rural)/IHERA (Instituto de Hidráulica, Engenharia Rural e Ambiente)/IDRHa/DGADR (Direcção-Geral de Agricultura e Desenvolvimento Rural). O sistema de coordenadas usado é Hayford-Gauss/*Datum* Lisboa. Foram utilizadas duas folhas (457 e 468) cedidas em formato *raster* (imagem).

### 4.1.3 Fotointerpretação / Vectorização

Em relação à Carta Agrícola, Carta Agrícola e Florestal e Carta de Solos foi efectuada, em ecrã, a vectorização dos elementos de interesse presente nas respectivas imagens *raster*. Para cada data foi produzido um tema vectorial de polígonos correspondentes aos usos do solo. Aos polígonos foram atribuídos, nas tabelas de atributos, códigos de identificação para os usos do solo respectivos.

A fotointerpretação pode definir-se como sendo a acção de examinar fotografias aéreas com o fim de identificar objectos e avaliar o seu significado (Arsénio, 1997). O trabalho de fotointerpretação foi executado em ecrã, sobre os ortofotomapas, utilizando as funcionalidades de digitalização do ArcGIS. A fotointerpretação realizou-se aplicando o método clássico da interpretação de imagens ou seja, consistiu na interpretação da forma, cor, textura, padrão, tamanho, sombra, localização e associação dos objectos para a sua identificação (Arsénio, 1997). Foram assim definidos polígonos que criam os limites de áreas homogéneas correspondentes às várias classes de ocupação do solo. Para cada data foi produzido um tema vectorial de polígonos correspondentes aos usos do solo identificados. Aos polígonos foram atribuídos, nas tabelas de atributos, códigos de identificação para os usos do solo respectivos. Em relação aos ortofotomapas, a fotointerpretação foi validada com trabalho de campo.

As cartas de ocupação do solo bem como a carta de solos, inicialmente em formato vectorial, foram convertidas em formato matricial (*raster*) de forma a ser possível a realização de algumas operações, como por exemplo a multiplicação, necessárias para o cálculo da perda de solo ou o cruzamento da informação referente à ocupação do solo com aquela respeitante aos vários parâmetros biofísicos. A transformação de formato foi

efectuada com a mesma resolução espacial dos temas biofísicos (malha quadrangular de 10 m) de maneira a compatibilizar toda a informação disponível.

## 4.2 Métodos

Na Figura 4.1 apresenta-se o esquema metodológico seguido no presente trabalho.

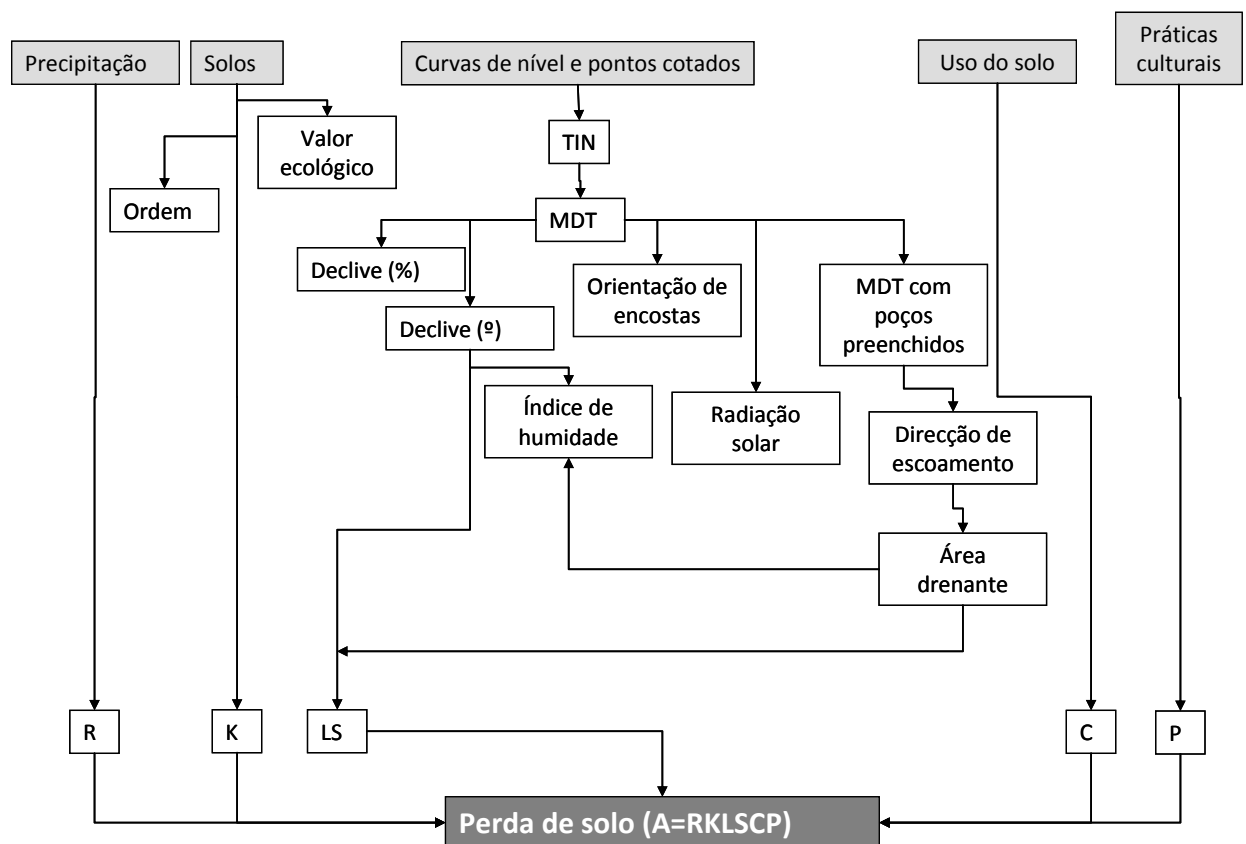


Figura 4.1 – Esquema metodológico.

A bacia hidrográfica foi delimitada automaticamente através do ArcGis (extensão Taudem), tendo sido depois corrigida em ecrã, com apoio principalmente nas curvas de nível e pontos cotados.

## 4.2.1 Caracterização biofísica

### *Morfometria*

Em primeiro lugar foi efectuada uma caracterização morfométrica elementar da bacia hidrográfica em estudo, tendo sido determinados os seguintes parâmetros: área, perímetro, comprimento da linha de água principal, comprimento total das linhas de água, altitude média, altitude mínima, altitude máxima, densidade de drenagem e coeficiente de compacidade.

A densidade de drenagem exprime a relação entre o comprimento total dos cursos de água de uma bacia e a área total da mesma. Este índice dá indicação da eficiência da drenagem natural de uma bacia e consequentemente a tendência para a ocorrência de cheias (Lencastre e Franco, 2003). Segundo Lencastre e Franco (2003) o Coeficiente de Compacidade ou Índice de Gravelius ( $K_c$ ) calcula-se através da relação entre o perímetro da bacia (P) e o perímetro de um círculo de igual área à da bacia (A), de raio r:

$$K_c = \frac{P}{2\pi r} = 0.28 \frac{P}{\sqrt{A}} \quad (\text{Eq. 4.1})$$

Foi, em seguida, realizada uma caracterização biofísica da área em análise. Com as curvas de nível e pontos cotados foi gerada uma TIN que serviu de suporte para a elaboração de um MDT em estrutura *raster* de malha quadrangular de 10 m. Toda a cartografia temática de natureza física foi derivada a partir deste MDT, nomeadamente o Declive, a Orientação de encostas e a Radiação solar. A resolução escolhida foi de 10 m uma vez que é a resolução máxima fiável de mapas construídos a partir de carta 1:25000 (Nunes *et al.*, 2002)

Os poços do MDT, células que não têm saída, criadas artificialmente aquando do processo de interpolação, foram preenchidos. Foi desta forma obtido um MDT sem poços que deu origem ao *raster* da direcção do escoamento superficial da água (caminhos preferenciais do escoamento), que por sua vez originou a área drenante (área da bacia hidrográfica que gera o escoamento que passa por um determinado ponto). A partir da área drenante e do declive calculou-se a humidade do solo. Também com base nestes dois parâmetros foi determinado o factor topográfico.

A partir de Cartas e de ortofotomapas de diferentes datas foram obtidas cartas de ocupação do solo. Apesar da informação estar em escalas diferentes, não foi efectuado qualquer processo de generalização cartográfica pelo facto de se tratar de um processo complexo que exigia um dispêndio considerável de tempo (Lopes, 2005). Foi realizado um cruzamento entre a informação relativa à ocupação do solo e a informação referente aos vários parâmetros biofísicos. As cartas de ocupação do solo permitiram o cálculo do factor de coberto do solo para as várias datas.

Com base nas cartas de ocupação do solo produzidas foi realizado o estudo da evolução da ocupação do solo ao longo do período de tempo em análise.

Com os dados de precipitação retirados do *Web Site* do Sistema Nacional de Informação de Recursos Hídricos (SNIRH) (<http://snirh.pt>) foi possível calcular o factor de erosividade da precipitação.

A Carta de Solos permitiu caracterizar a área de estudo em termos das famílias e ordens de solos e obter o valor ecológico e o factor de erodibilidade do solo.

## ***Altimetria***

O relevo é um parâmetro fundamental para a interpretação e estudo de um território. Pode ser caracterizado em diferentes modelos de dados:

- tema vectorial de linhas, representando curvas de nível, linhas de água e festos; tema vectorial de pontos, representando pontos cotados. Estes temas são geralmente designados por Altimetria;
- Modelo Rede Triangular Irregular, em que as entidades são triângulos num espaço 3D definidos pelas três coordenadas de cada um dos seus vértices. Partindo do conhecimento das coordenadas tri-dimensionais destes três pontos é calculada uma equação do plano que contém cada triângulo. Conhecida esta equação, é possível calcular a altitude de todos os locais situados no interior e na fronteira desse triângulo. Este modelo é gerado a partir da Altimetria;
- Modelo *raster*, em que as entidades são pixels que correspondem a valores de altitude;
- Modelo vectorial de polígonos (também denominado Hipsometria), em que as entidades são polígonos que correspondem a classes de altitude.

A partir das curvas de nível e pontos cotados da Carta Militar à escala 1:25000 foi gerada uma TIN.

Na triangulação para elaboração da TIN não foram incluídas nem as linhas de festo nem os talwegues. Com base na TIN foi elaborado um MDT em estrutura *raster* de malha quadrangular de 10 m.

A carta de Altimetria foi elaborada com base em 5 classes: 0-50m, 50-100m, 100-150m, 150-200m e 200-250m.

### ***Declive***

O declive é uma das variáveis fundamentais para os estudos sobre qualquer tema relacionado com a morfologia do território, uma vez que é o principal elemento restritivo às actividades humanas e aos processos físicos (Magalhães, 1996). Para Ferreira (1999) este é o factor determinante nas taxas de perda de solo, portanto um óptimo descritor da morfologia do território. Na análise do risco de erosão do solo o declive constitui um dos mais importantes parâmetros morfológicos a considerar.

Com base no MDT em estrutura *raster* foi gerado o declive, expresso quer em percentagem quer em graus (depois convertido em radianos). O declive expresso em graus foi utilizado para o cálculo do factor topográfico e do índice de humidade. O declive expresso em percentagem foi usado no cruzamento com os *rasters* do uso do solo.

Foram definidas 6 classes (Tabela 4.2) para o declive expresso em percentagem, tendo em consideração a relação entre o declive e a aptidão para o espaço edificado, agrícola ou silvícola.

Tabela 4.2 - Classes de declive (%)

<b>Classes</b>	<b>Descrição</b>
0-5%	Plano
5-8%	Muito suave
8-12%	Suave
12-15%	Moderado
15-25%	Acentuado
>25%	Muito acentuado



## ***Orientação das encostas***

A orientação das encostas assume grande significado ecológico, pois determina directamente a radiação solar recebida e portanto a temperatura e a humidade do solo e, consequentemente, o tipo de ocupação vegetal. A carta de orientação das encostas permite diferenciar, relativamente à insolação, a melhor localização para as várias actividades humanas, nomeadamente a construção de habitações ou equipamentos.

Com base no MDT em estrutura *raster* foi gerado um mapa de orientação das encostas. As classes adoptadas são as seguintes: plano, norte, sul, este e oeste.

## ***Humidade do solo***

A disposição dos diferentes tipos de comunidades vegetais à superfície da Terra depende essencialmente dos factores ambientais temperatura e disponibilidade hídrica (teor de humidade do solo). A quantidade de água disponível no solo depende do tipo de solo e da precipitação e, em grande parte, da topografia, na medida em que o declive influencia a formação e portanto a espessura do solo.

A distribuição espacial e temporal da humidade do solo é um parâmetro muito importante mas de extrema variabilidade e difícil determinação (Botelho da Costa, 1952). Como a amostragem directa é difícil e morosa, opta-se, muitas vezes, por uma estimativa através de índices que usam modelos digitais do terreno. Estes índices caracterizam o efeito da topografia na distribuição da humidade do solo, fornecendo informação acerca das características hidrológicas de cada célula do modelo e baseiam-se sobretudo em dois parâmetros: declive e área drenante.

O índice mais simples e mais usado é o Índice de Humidade de Beven e Kirby (1979). Para cada célula do MDT de uma determinada região este índice determina um valor de humidade relativa ( $W_i$ ):

$$W_i = \ln \left( \frac{a_i}{\tan \beta_i} \right) \quad (\text{Eq. 4.2})$$

em que:

$a_i$  - área drenante específica para o ponto  $i$ , por unidade de secção ( $\text{m}^2 \cdot \text{m}^{-1}$ )

$\beta_i$  - declive no ponto  $i$  expresso em graus (depois convertido em radianos)

Embora seja muitas vezes usado como um índice relativo, o índice de humidade tem unidades de metro quadrado. Quando o declive toma o valor zero, usa-se um ajustamento para prevenir a indeterminação no cálculo do índice. Este índice assume que a transmissividade do solo é uniforme na área em estudo. Segundo este método, a distribuição espacial da acumulação de água pode ser calculada baseando-se no pressuposto de que o gradiente hidráulico local lateral pode ser aproximado a partir do declive. O índice de humidade toma em consideração tanto o declive como a posição de cada célula na paisagem. Este índice pode dar uma ideia da acumulação do fluxo de água, humidade do solo, distribuição das zonas de saturação, profundidade da toalha freática, evapotranspiração e consequentemente da distribuição das formações vegetais.

O valor do índice de humidade está relacionado com a humidade do solo – quanto maior o valor do índice, maior o teor de humidade do solo. Este índice indica a tendência de uma célula para produzir escoamento, uma vez que áreas com maior humidade terão maior tendência para ficarem saturadas. Assim, locais planos com áreas drenantes grandes terão um valor do índice de humidade mais elevado do que locais declivosos com pequenas áreas

drenantes. Áreas com valores do índice elevado ocorrem ao longo de linhas de água ou zonas de convergência topográfica.

Este índice tem algumas limitações, pois não entra em conta, directamente, com as características do solo, baseando-se apenas no facto de que diferenças na topografia causam diferenças nos padrões hidrológicos e na dinâmica da humidade do solo. No entanto, ser usado como *input* para modelos que determinam a humidade do solo com base nas características edáficas.

Foram definidas seis classes para o Índice de Humidade do solo (Tabela 4.3).

Tabela 4.3 - Classes do Índice de Humidade do Solo.

Classes	Descrição
0-5	Extremamente seco
5-9	Muito seco
9-13	Seco
13-17	Moderado
17-21	Húmido
21-23	Muito Húmido

## ***Radiação***

A radiação solar é de importância vital para os seres vivos, influenciando um grande número de processos biológicos e a distribuição das comunidades vegetais. A distribuição dos diferentes tipos de comunidades vegetais à superfície da Terra está intimamente relacionada com a quantidade total de energia solar incidente, uma vez que este parâmetro influencia directamente a temperatura anual.

A quantidade de energia solar incidente numa determinada zona da superfície terrestre depende, em primeiro lugar, da latitude a que essa zona se encontra, da altura do ano e

ainda da hora do dia. Por outro lado, a morfologia do terreno tem uma influência importante na quantidade de energia que atinge um determinado ponto da superfície, pelo facto do relevo determinar a extensão do céu visível e proporcionar a ocultação da superfície em relação ao Sol (criação de sombras). Assim, o declive e a orientação são parâmetros a integrar na determinação da Radiação Solar. As condições atmosféricas, principalmente a nebulosidade, também influenciam a quantidade de energia solar incidente na superfície terrestre (Fu e Rich 2000).

A Radiação Solar Global (directa+difusa) foi calculada com recurso ao MDT em estrutura *raster*, através do *software* Solar Analyst (extensão ao ArcView) que entra em conta com a latitude da zona em estudo. Considerou-se importante a determinação da radiação recebida ao longo de um ano, por ser um parâmetro de importância vital para as espécies vegetais, quer dos ecossistemas naturais, quer dos cultivados. A Radiação Solar Global foi determinada não entrando em conta com a nebulosidade ou seja, considerou-se um valor da transmitância da atmosfera de 100%. Esta correcção poderá, no entanto ser efectuada, se forem conhecidos os valores da nebulosidade média para as várias zonas da área de estudo. Na Tabela 4.4 podem observar-se as cinco classes referentes à Radiação Solar Global, definidas no ArcGis pelo critério *Natural Breaks*.

Tabela 4.4 - Classes consideradas referentes à Radiação Solar Global.

Classes	Descrição
2772-663053 Wh/m <sup>2</sup>	Muito baixa
663053-1108884 Wh/m <sup>2</sup>	Baixa
1108884-1244326 Wh/m <sup>2</sup>	Média
1244326-1317691 Wh/m <sup>2</sup>	Alta
1317691-1447490 Wh/m <sup>2</sup>	Muito alta

## ***Solos e valor ecológico dos solos***

O solo constitui não só o suporte das comunidades vegetais como também uma reserva de nutrientes e de água necessários ao desenvolvimento das plantas. O solo assegura várias funções essenciais dos ecossistemas, sendo por isso necessário preservá-lo uma vez que é recurso vital em grande medida não renovável e sujeito a ameaças crescentes como resultado das actividades humanas. Importa proteger principalmente os solos que possuem maior capacidade produtiva (Magalhães *et al.*, 2001).

A Carta de Solos de Portugal série SROA/CNROA em formato digital foi obtida por conversão analógico-digital da Carta Complementar de Solos à escala 1:25000 tendo sido elaborada pelo SROA/CNROA/IEADR/IHERA/IDRHa/DGADR (Dias, 1999). A Carta de Solos vem acompanhada de uma Notícia Explicativa (INSTITUTO DE HIDRÁULICA, ENGENHARIA RURAL E AMBIENTE, 1999) com a simbologia de cada família de solos e respectiva descrição.

A Carta de Solos é constituída por polígonos que contêm informação sobre a tipologia dos solos aí encontrados, as famílias de solos e respectivas fases. Um polígono pode incluir até 3 tipos diferentes de famílias de solos, havendo indicação da área (%) do polígono ocupada pelas diferentes famílias. As categorias taxonómicas utilizadas para a classificação dos solos são: Ordem, Subordem, Grupo, Subgrupo e Família. Trata-se de uma classificação hierárquica.

Com a possibilidade de haver três famílias de solos em cada polígono torna-se difícil o tratamento desta carta, devido ao elevado número de classes. Assim, a partir da Carta de Solos foi elaborada uma Carta com as Ordens de solos presentes em cada polígono. A Carta de Solos também foi usada como base para o cálculo da erodibilidade do solo e do Valor Ecológico. O valor ecológico dos solos foi determinado com base na quantidade e tipo de

biomassa que cada tipo de solo pode suportar, parâmetros dependentes das características edáficas (Magalhães *et al.*, 2001):

Classe 0 – Áreas Sociais, Águas Continentais e Marítimas

Classe 1 – Solos de Muito Elevado Valor Ecológico – solos que, potencialmente, deverão apresentar considerável espessura efectiva e os maiores índices de fertilidade, criando condições muito propícias ao desenvolvimento das plantas e à produção de biomassa. Por esta razão deverão ser preservados e protegidos.

Classe 2 – Solos de Elevado valor Ecológico – solos com potencialidade considerável para a produção de biomassa, mas que apresentam características menos favoráveis do que as da classe 1. São solos associados a ecossistemas específicos que interessa preservar.

Classe 3 – Solos de valor Ecológico Variável – solos de valor ecológico inferior aos anteriores mas que em algumas condições podem apresentar características que justifiquem a sua preservação.

Classe 4 – Solos de Reduzido valor Ecológico – solos pouco evoluídos, menos férteis e delgados, com reduzida potencialidade para a produção de biomassa, que não apresentam valor ecológico específico.

Classe 5 – Solos de Muito Reduzido Valor Ecológico – estão incluídos nesta classe solos incipientes ou em fases muito delgadas com valor ecológico praticamente nulo.

Com base na Carta de Solos foi elaborada a Carta do Valor Ecológico. O valor ecológico de cada polígono foi calculado através da média ponderada do valor ecológico das famílias presentes pela respectiva representatividade (%).

## **4.2.2 Cartas de ocupação do solo**

As cartas de ocupação do solo foram obtidas para os anos de 1895, 1963, 1990 e 2004/05.

As três primeiras foram produzidas a partir de cartografia já existente enquanto que a última foi efectuada a partir da interpretação de ortofotomapas.

Após uma análise inicial das legendas das cartas de ocupação do solo das várias datas houve um processo de compatibilização das legendas, tendo-se, no presente estudo, adoptado oito classes de ocupação do solo: meios semi-naturais, agricultura, floresta, água, área social, olival/pomar, solos com pouca vegetação, eucaliptal. Estas classes foram escolhidas tendo em conta o possível contributo de cada uma para a perda de solo. Assim, o eucaliptal foi considerado à parte da classe floresta por se tratar, no geral, de povoamentos florestais intensivos.

### **1895**

A Carta Agrícola data do final do século XIX, tendo sido levantada de 1882 a 1893 sob a direcção de G. Pery (Feio, 1998). As cartas usadas foram cedidas pelo IDRHa. Neste estudo foram usadas as folhas 161 e 171, publicadas à escala 1:50000, respectivamente em 1891 e 1899.

Na Tabela 4.5 apresenta-se a correspondência entre as classes da legenda original da Carta Agrícola e a legenda usada no presente estudo.

Tabela 4.5 - Correspondência entre as classes da legenda original da Carta Agrícola (1895) e a legenda usada no presente estudo.

<b>Legenda original</b>	<b>Nova Legenda</b>
Charnechas e matos	Meios semi-naturais
Culturas arvenses	Agricultura
Montados (Azinho e Olival)	Floresta
Montados (Azinho e Sobro)	Floresta
Montados (Azinho)	Floresta
Montados (Chaparral)	Floresta
Montados (Sobro)	Floresta
Olivais	Olival/Pomar
Pastagens naturais, pousios	Meios semi-naturais
Pinhais	Floresta
Prados naturais	Meios semi-naturais

## **1963**

A Carta Agrícola e Florestal de Portugal (décadas 50/60) foi elaborada com base na observação directa das diferentes culturas e essências florestais e abrange grandes grupos de utilização do solo: agrícola, florestal, agro-florestal, incultos, salinas, sapais, áreas sociais, rios, lagoas e albufeiras (CNA, 1985), o que possibilita uma importante referência para muitos estudos. As duas folhas usadas tiveram reconhecimento de campo no ano de 1951 e foram actualizadas e posteriormente publicadas em 1963 à escala 1: 25000.

Na Tabela 4.6 apresenta-se a correspondência entre as classes da legenda original da Carta Agrícola e Florestal e a legenda usada no presente estudo.

## **1990**

A Carta de Ocupação do Solo de Portugal Continental (COS) referente ao ano de 1990 foi elaborada pelo ex-CNIG com base na interpretação estereoscópica das fotografias



provenientes da cobertura aerofotográfica da ACEL (Associação dos Produtores de Celulose e Papel) actual CELPA (Associação da Indústria Papeleira), (fotografias tiradas em Agosto de 1990 e Agosto de 1991), com filme infravermelho de falsa cor, à escala média de 1:15000. A COS visava a execução de uma Cartografia de usos e ocupação do solo integral para Portugal Continental, desde o domínio florestal ao agrícola. Esta carta foi publicada à escala 1: 25000 em formato digital.

Tabela 4.6 - Correspondência entre as classes da legenda original da Carta Agrícola e Florestal (1963) e a legenda usada no presente estudo.

<b>Legenda original</b>	<b>Legenda original</b>	<b>Nova legenda</b>
Agua	Água	Água
Ar	Arrozal	Agricultura
As	Área social	Área social
Az	Azinheira	Floresta
Az-Sb	Azinheira-Sobreiro	Floresta
Ca	Culturas arvenses de sequeiro	Agricultura
Ca*	Culturas arvenses de sequeiro	Agricultura
Ca+Ol	Culturas arvenses de sequeiro +Oliveira	Agricultura
Ca/Az	Culturas arvenses de sequeiro/Azinheira	Agricultura
Cd-Fg-Ac-Ec	Cedro-Faia-Acácia-Eucalipto	Floresta
Cr	Culturas arvenses de regadio	Agricultura
Cr*	Culturas arvenses de regadio	Agricultura
Ec	Eucalipto	Floresta
Ht	Culturas hortícolas em regadio	Agricultura
Ic/Az	Inculto/Azinheira	Meios semi-naturais
Ic/Sb	Inculto/Sobreiro	Meios semi-naturais
Ol	Oliveira	Olival/Pomar
Ol+Ca	Oliveira+Culturas arvenses de sequeiro	Olival/Pomar
Pnm	Pinheiro Manso	Floresta
Pnm*	Pinheiro Manso	Floresta
Pnm-Sb	Pinheiro Manso-Sobreiro	Floresta
Sb	Sobreiro	Floresta
Sb*	Sobreiro	Floresta
Sb-Az	Sobreiro-Azinheira	Floresta

Na Tabela 4.7 apresenta-se a correspondência entre as classes da legenda original da Carta de Ocupação do Solo e a legenda usada no presente estudo.

Tabela 4.7 - Correspondência entre as classes da legenda original da Carta de Ocupação do Solo (1990) e a legenda usada no presente estudo.

Legenda original	Legenda original	Nova legenda
AA3	Prunoideas (sem amendoeira)	Pomar/Olival
BB0	Sobreiro (grau de coberto inferior a 10%)	Floresta
BB1	Sobreiro (grau de coberto de 10% a 30%)	Floresta
BB2	Sobreiro (grau de coberto de 30% a 50%)	Floresta
BB3	Sobreiro (grau de coberto superior a 50%)	Floresta
BZ2	Sobreiro+Azinheira (grau de coberto de 30% a 50%)	Floresta
BZ3	Sobreiro+Azinheira (grau de coberto superior a 50%)	Floresta
CB0	Culturas anuais+Sobreiro	Agricultura
CC1	Sequeiro	Agricultura
CC2	Regadio	Agricultura
CC3	Arrozais	Agricultura
CO1	Sequeiro+Olival	Agricultura
CX1	Sistemas culturais e parcelares complexos	Agricultura
CZ0	Culturas anuais+Azinheira	Agricultura
EE3	Eucalipto (grau de coberto superior a 50%)	Floresta
FF3	Outras folhosas (grau de coberto superior a 50%)	Floresta
FF5	Outras folhosas (zona verde urbana ou de protecção)	Floresta
HH1	Cursos de água	Água
HH2	Lagoas e albufeiras	Água
IB0	Vegetação arbustiva alta e floresta degradada ou de transição	Meios semi-naturais
II1	Pastagens naturais pobres	Meios semi-naturais
II2	Vegetação arbustiva baixa- matos	Meios semi-naturais
IZ0	Vegetação arbustiva alta e floresta degradada ou de transição	Meios semi-naturais
JY1	Praia, dunas, areais e solos sem cobertura vegetal	Solos com pouca vegetação
JZ0	Áreas descobertas sem ou com pouca vegetação	Solos com pouca vegetação
MF3	Pinheiro manso+Outras folhosas (grau de coberto superior a 50%)	Floresta
MM3	Pinheiro Manso (grau de coberto superior a 50%)	Floresta
OA1	Olival+Pomar	Olival/Pomar
OO1	Olival	Olival/Pomar
OZ1	Olival+Azinheira	Olival/Pomar
PB3	Pinheiro bravo+Sobreiro (grau de coberto superior a 50%)	Floresta
PP3	Pinheiro Bravo (grau de coberto superior a 50%)	Floresta
UU1	Tecido urbano contínuo	Área social
UU2	Tecido urbano descontínuo	Área social
ZB1	Azinheira+Sobreiro (grau de coberto de 10% a 30%)	Floresta
ZB2	Azinheira+Sobreiro (grau de coberto de 30% a 50%)	Floresta
ZB3	Azinheira+Sobreiro (grau de coberto superior a 50%)	Floresta
ZZ2	Azinheira (grau de coberto de 30% a 50%)	Floresta
ZZ3	Azinheira (grau de coberto superior a 50%)	Floresta

## 2004/2005

No ano de 2004 foi realizado pela primeira vez em Portugal um voo com uma câmara aérea digital, com uma resolução de 50 centímetros no terreno, cobrindo aproximadamente 40 %

do território de Portugal Continental. A DGRF estabeleceu um protocolo com o IGP para a verificação da qualidade do voo e para a produção dos respectivos ortofotomapas. Em Agosto de 2005 foram cobertos mais 40% do território de Portugal Continental, e os restantes 20% em 2006.

A fotointerpretação destes ortofotomapas foi efectuada tendo em conta as oito classes de ocupação do solo definidas.

#### **4.2.3 Evolução espacial e temporal da ocupação do solo (1895-2004/05)**

Através das cartas de ocupação do solo nas várias datas em análise foi possível caracterizar a evolução espacial e temporal da ocupação do solo. Por outro lado, foram efectuados cruzamentos entre cada par de datas consecutivas de forma a perceber-se os ganhos e perdas de cada classe. Estas operações foram efectuadas no IDRISI, com recurso ao módulo *Land Change Modeler*.

#### **4.2.4 Estimativa da perda de solo através da USLE**

A perda de solo através da erosão laminar foi calculada por meio da multiplicação dos *rasters* correspondentes aos vários factores da USLE. Como se trata de *rasters* de tipo *floating point* (números reais), não têm tabelas de atributos. Por esta razão não se apresenta um gráfico com a estatística mas sim os histogramas em que a frequência corresponde ao número de pixels incluídos em cada classe.

### ***Factor Erosividade da Precipitação (R)***

Através da página oficial do Sistema Nacional de Informação dos Recursos Hídricos (SNIRH) na Internet (<http://snirh.pt/>) foram obtidos os valores da Precipitação anual em 6 postos pluviométricos envolventes da bacia (as séries temporais não têm sempre a mesma extensão):

Alcácovas: 1945-1969 e 1971-1999 (aproximadamente 53 anos)

Montemor-O-Novo: 1932-1998, 2001, 2002, 2004 e 2006 (aproximadamente 70 anos)

Montevil: 1945-1999, 2003 e 2004 (aproximadamente 56 anos)

Santiago do Escoural: 1945-1996, 1998, 2001-2004 e 2006 (aproximadamente 56 anos)

Barragem do Pego do Altar: 1933-1935 e 1939-1999 (aproximadamente 63 anos)

São Martinho: 1935-1941, 1943-1996, 1998 e 1999 (aproximadamente 62 anos)

Com os valores da Precipitação Anual destes postos pluviométricos, juntamente com os da estação de Alcácer do Sal, foi efectuada uma interpolação *Spline Tension* para obtenção do valor da precipitação em toda a bacia hidrográfica em estudo. Dos vários métodos de interpolação escolheu-se este por ser aquele que capta com maior precisão as particularidades regionais/locais, facto que se deve à sua flexibilidade de ajuste aos pontos de medição. Pode, no entanto, apresentar valores menos precisos nos locais onde existem variações bruscas nos valores dos parâmetros considerados. Com base nos dados da precipitação calculou-se os valores da erosividade da precipitação (R) através da equação 4.3 (Tomás e Coutinho, 1993). Trata-se de uma equação desenvolvida para o nosso país e que foi obtida com dados referentes ao centro/sul (conjunto das estações de Lisboa, Oeiras e Mértola).

$$R = -685.3 + 3.406P \quad (\text{Eq. 4.3})$$

## **Factor Erodibilidade do Solo (K)**

O factor K (erodibilidade do solo), apresentado na Tabela 4.8, referente a cada família de solos foi retirado dos trabalhos de Pimenta (1998a, 1998b). Tal como efectuado para o valor ecológico dos solos, o factor K de cada polígono foi calculado através da média ponderada de todas as famílias presentes. Os referidos trabalhos não contemplavam uma família de solos presente na área de estudo. No entanto, através de contacto directo com a autora foi possível obter o valor da erodibilidade para a referida família.

Tabela 4.8 – Factor de erodibilidade referente a cada família de solos.

<b>Família</b>	<b>Factor K</b>
Afloramento Rochoso de xistos ou grauvaques	0.26
Litólicos, Não Húmicos, Pouco Insaturados Normais, de arenitos grosseiros	0.26
Solos Argiluvitados Pouco Insaturados - Solos Mediterrâneos, Pardos, de Materiais Calcários, Para-Barros, de calcários margosos	0
associados a arcoses ou rochas afins	
Solos Argiluvitados Pouco Insaturados - Solos Mediterrâneos, Pardos, de Materiais Calcários, Para-Solos Hidromórficos, de arcoses	0.19
ou rochas afins associadas a depósitos calcários	
Solos Argiluvitados Pouco Insaturados - Solos Mediterrâneos, Pardos, de Materiais Não Calcários, Normais, de xistos ou grauvaques	0.19
Solos Argiluvitados Pouco Insaturados - Solos Mediterrâneos, Pardos, de Materiais Não Calcários, Para-Barros, de dioritos ou quartzodioritos	0.39
ou rochas microfaneríticas ou cristalofílicas afins	
Solos Argiluvitados Pouco Insaturados - Solos Mediterrâneos, Pardos, de Materiais Não Calcários, Para-Solos Hidromórficos, de arcoses ou rochas afins	0.39
Solos Argiluvitados Pouco Insaturados - Solos Mediterrâneos, Pardos, de Materiais Não Calcários, Para-Solos Hidromórficos, de arenitos	0.39
ou conglomerados argilosos ou argilas (de textura arenosa ou franco-arenosa)	
Solos Argiluvitados Pouco Insaturados - Solos Mediterrâneos, Vermelhos ou Amarelos, de Materiais Calcários, Para-Barros, de margas ou calcários margosos	0.26
Solos Argiluvitados Pouco Insaturados - Solos Mediterrâneos, Vermelhos ou Amarelos, de Materiais Calcários, Para-Hidromórficos, de arcoses	0.31
ou rochas afins associadas a depósitos calcários	
Solos Argiluvitados Pouco Insaturados - Solos Mediterrâneos, Vermelhos ou Amarelos, de Materiais Não Calcários, Normais,	0.31
de "rañas" ou depósitos afins	
Solos Argiluvitados Pouco Insaturados - Solos Mediterrâneos, Vermelhos ou Amarelos, de Materiais Não Calcários, Normais, de rochas cristalofílicas	0.3
Solos Argiluvitados Pouco Insaturados - Solos Mediterrâneos, Vermelhos ou Amarelos, de Materiais Não Calcários, Normais, de xistos ou grauvaques	0.32
Solos Calcários, Pardos dos Climas de Regime Xérico, Normais de arenitos grosseiros associados a depósitos calcários	0.39
Solos Calcários, Pardos dos Climas de Regime Xérico, Para-Barros, de formações argiláceas associadas a depósitos calcários	0.32
Solos Calcários, Vermelhos dos Climas de Regime Xérico, Normais, de xistos ou grauvaques associados a depósitos calcários	0.26
Solos Hidromórficos, Sem Horizonte Eluvial, Para-Aluviossolos (ou Para-Coluviossolos), de aluviões ou coluviais de textura ligeira	0.23
Solos Hidromórficos, Sem Horizonte Eluvial, Para-Aluviossolos (ou Para-Coluviossolos), de aluviões ou coluviais de textura mediana	0.32
Solos Hidromórficos, Sem Horizonte Eluvial, Para-Barros, de margas ou calcários margosos ou arenitos calcários	0.29
Solos Incipientes - Aluviossolos Antigos, Não Calcários, de textura mediana	0.32
Solos Incipientes - Aluviossolos Antigos, Não Calcários, de textura pesada	0.19
Solos Incipientes - Aluviossolos Modernos, Não Calcários, de textura mediana	0.32
Solos Incipientes - Aluviossolos Modernos, Não Calcários, de textura pesada	0.32
Solos Incipientes - Litossolos dos Climas de Regime Xérico, de xistos ou grauvaques	0.31
Solos Litólicos, Não Húmicos Pouco Insaturados, Normais, de materiais arenáceos pouco consolidados (de textura arenosa a franco-arenosa)	0.32

### ***Factor de Coberto do Solo (C)***

O tipo e densidade da vegetação determinam a quantidade de precipitação interceptada e retida pelo solo. Num solo sem vegetação o escoamento superficial é elevado e fica portanto sujeito a maior erosão. O factor de coberto de solo foi retirado de Pimenta (1998b) e apresenta-se na Tabela 4.9

Tabela 4.9 – Factor de coberto do solo para cada classe de ocupação do solo.

<b>Classes de Ocupação do solo</b>	<b>Factor C</b>
Agricultura	0.3
Água	0
Área social	0.01
Eucaliptal	0.2
Floresta	0.1
Meios semi-naturais	0.1
Olival/Pomar	0.1
Solos com pouca vegetação	0.4

### ***Factor Topográfico (LS)***

Para o cálculo do factor topográfico foi usada a equação desenvolvida por Moore e Burch (*in* Moore e Wilson, 1992), adaptada ao cálculo da erosão com base em SIGs:

$$LS = \left( \frac{A_s \cdot C}{22.13} \right)^m \left( \frac{\sin \beta}{0.0896} \right)^p \quad (\text{Eq. 4.4})$$

em que  $\beta$  é o declive calculado em graus e transformado em radianos, m e p são dois expoentes empíricos que tomam geralmente o valor de 0.4 e 1.3,  $A_s$  é a área drenante e C o tamanho do pixel.

Como foi referido, a USLE não se aplica à erosão concentrada, apenas se aplica à erosão laminar e por sulcos, o que significa que é necessário excluir as zonas de vales (canais de drenagem) ou depressões da análise. Para tal rejeita-se, no DEM, zonas com um valor

elevado do factor de comprimento. Este valor é variável consoante a zona em estudo. No presente trabalho aceitou-se o valor de 122 m, adoptado por Panagopoulos e Antunes (2008) num estudo do risco de erosão em montados do Algarve e que segundo Renard *et al.* in Panagopoulos e Antunes (2008) poderá ser usado em muitas situações.

Segundo vários autores (Irvem *et al.*, 2007) a USLE não deve ser aplicada a zonas com declive superior a cerca de 20%, sob pena de não ser possível garantir a validade dos resultados. Por esta razão foi aplicada uma máscara para excluir estas zonas da paisagem, da análise da perda de solo.

### ***Factor de Práticas Conservacionistas (P)***

O factor de práticas conservacionistas (P) foi considerado igual a 1 em toda a área de estudo por não haver dados disponíveis sobre práticas de conservação do solo. Foi consultado um trabalho desenvolvido para o sul de Portugal (Tomás, 1992), no entanto apenas referia valores deste factor para práticas agrícolas.

### ***Risco potencial de perda de solo***

Na USLE o factor erosividade da precipitação, erodibilidade do solo e o factor topográfico são factores naturais que determinam os processos de erosão. Juntos, estes factores podem ser considerados como a susceptibilidade à erosão ou risco potencial de perda de solo (Yueqing, 2009). Este risco foi calculado pelo produto dos três factores referidos.

## 5 Resultados

### 5.1 Caracterização biofísica

#### 5.1.1 Morfometria

Apresentam-se na **Error! Reference source not found.** Tabela 5.1 os dados referentes à caracterização morfométrica da bacia hidrográfica do Ribeiro do Canas e na Figura 5.1**Error! Reference source not found.** a Rede Hidrográfica. Trata-se de uma bacia de pequena dimensão (5335 hectares de área) que corresponde a cerca de 0.8% da Bacia do Sado, como já foi referido. A altitude média é de 106 m. A densidade de drenagem é de  $6.3 \text{ km km}^{-2}$ , o que, segundo Lencastre e Franco (2003), revela uma bacia hidrográfica bem drenada e portanto, eventualmente sujeita a cheias. Segundo o valor obtido do Coeficiente de Compacidade (1.73), a bacia de estudo é ligeiramente alongada, significando que não tem uma tendência muito elevada para a ocorrência de cheias (Lencastre e Franco, 2003).

Tabela 5.1 - Características morfométricas da Bacia Hidrográfica do Ribeiro do Canas.

Parâmetro	Valor
Área (ha)	5335
Perímetro (m)	44704
Comprimento da linha de água principal (m)	19141
Comprimento total das linhas de água (m)	334389
Altitude média (m)	106
Altitude mínima (m)	10
Altitude máxima (m)	250
Densidade de drenagem ( $\text{km km}^{-2}$ )	6.3
Coeficiente de compacidade	1.7



### 5.1.2 Altimetria

Apresenta-se, na Figura 5.2 **Error! Reference source not found.**, o MDT, em formato TIN, da área de estudo, na Figura 5.3 a carta da Altimetria e na Figura 5.4 as áreas relativas das diferentes classes de altimetria.

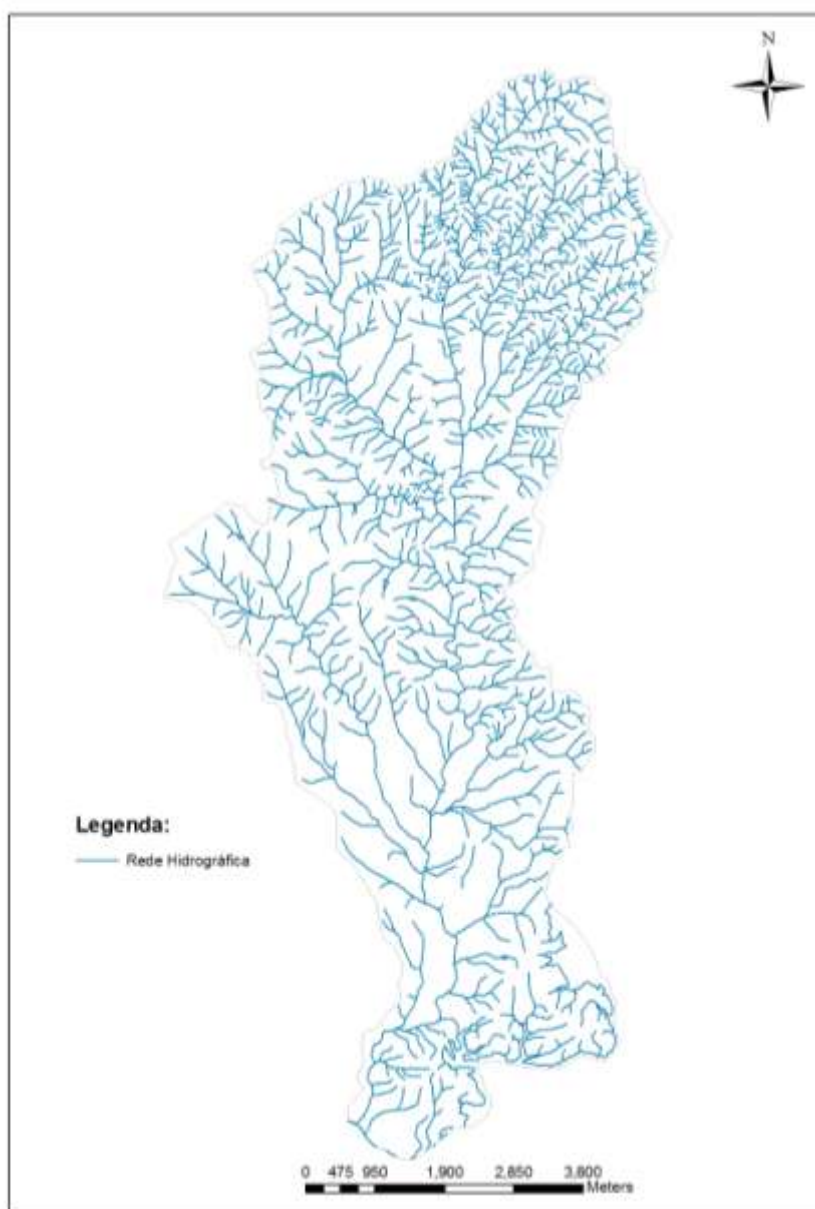


Figura 5.1 - Rede Hidrográfica.

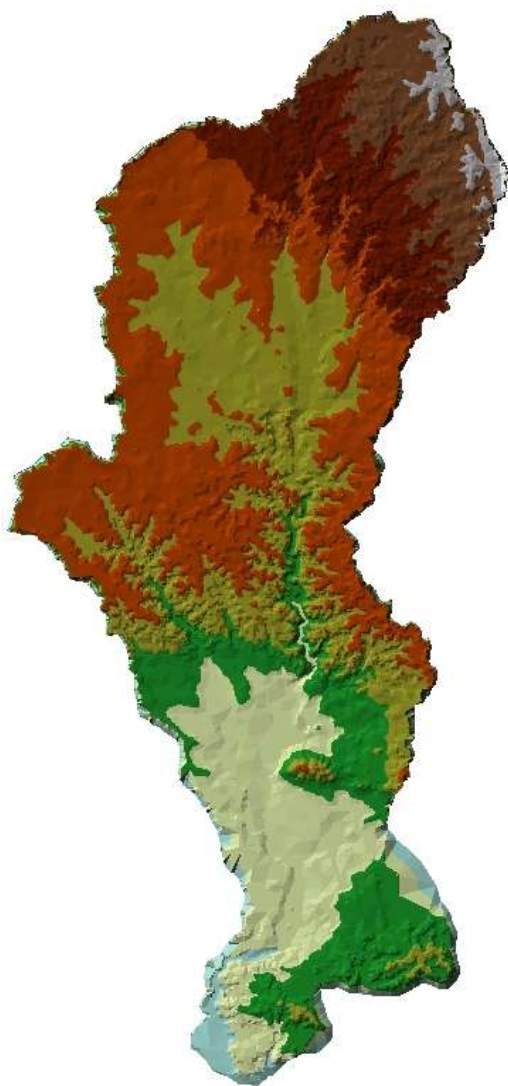


Figura 5.2 - Modelo Digital do Terreno em formato TIN.

Pode observar-se que se está perante um território relativamente diferenciado, destacando-se algumas unidades morfológicas distintas. Assim, na zona nordeste encontram-se formações de relevo um pouco mais acidentado, enquanto que na zona sul predomina um relevo mais aplanado. Identifica-se, com bastante clareza, a Serra da Lapa de forma aproximadamente elipsoidal, no centro de uma zona plana a sul da área de estudo. Distinguem-se perfeitamente as zonas correspondentes aos vales do Ribeiro do Canas e da Ribeira de Santa Susana.

Na bacia hidrográfica as cotas variam entre 0-250.362 m, sendo a altitude média de cerca de 106 m. Na zona nordeste a altitude toma os valores mais elevados (150-250 m), na zona central valores intermédios (100-150 m) e na zona sul nos valores mais baixos (0-150 m).

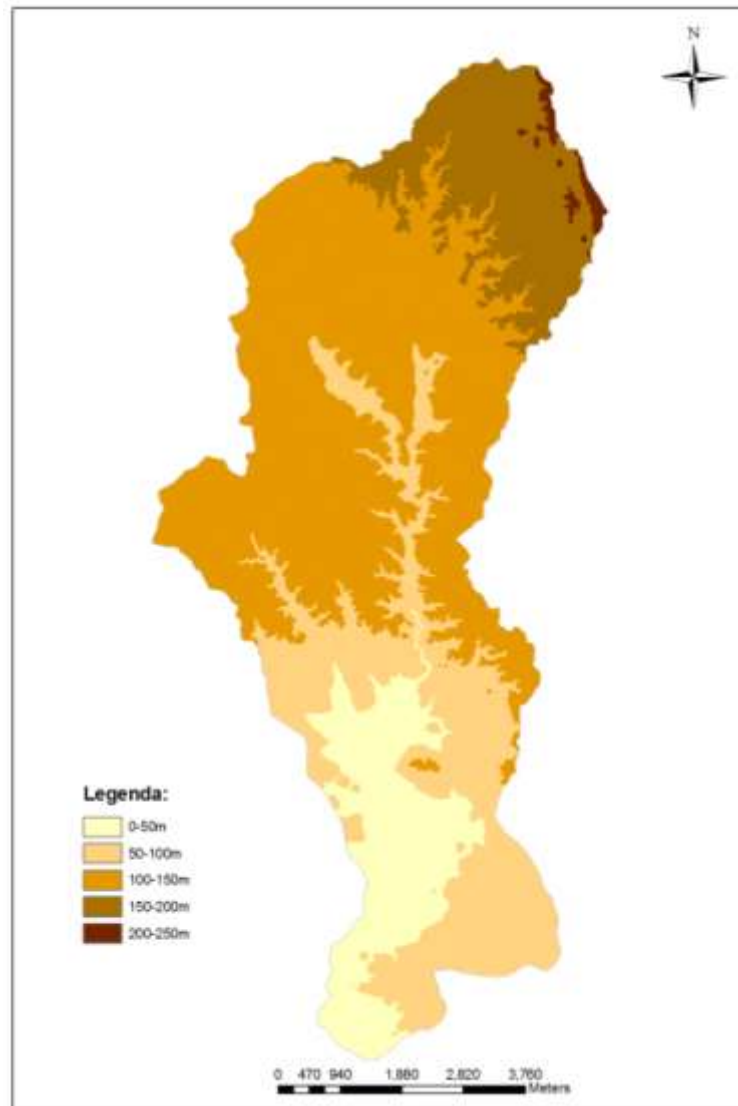


Figura 5.3 - Carta de Altimetria.

A classe de altimetria com maior representatividade é a classe de valores intermédios (100-150 m) que ocupa quase metade da área de estudo (47.63%), seguindo-se a classe 50-100 m (24.23%). As classes 0-50 m e 150-200 m praticamente ocupam a mesma área, cerca de 14%. A classe altimétrica com menor representatividade corresponde à classe com os valores mais elevados (cerca de 1%).

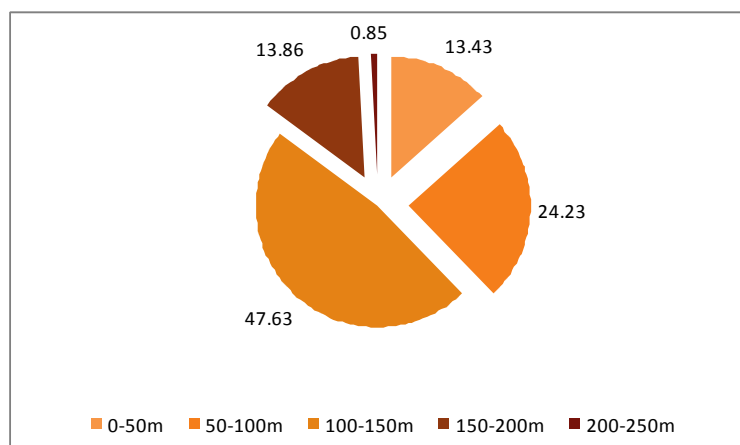


Figura 5.4 - Áreas relativas (%) das diferentes classes de Altimetria.

### 5.1.3 Declive

Na Figura 5.5 está representada uma carta que evidencia as zonas com Declive igual a zero (18% da área de estudo) e na Figura 5.6 a carta de Declives (%) reclassificada em 6 classes. Podem observar-se algumas zonas de declive muito acentuado: nordeste (com altitudes mais elevadas), zona central correspondente aos vales do Ribeiro do Canas e da Ribeira de Santa Susana, Serra da Lapa e zona sul da bacia hidrográfica, já na envolvente da albufeira do Pego do Altar. Verifica-se ainda que na área em estudo, no geral, predominam os declives suaves, correspondentes a zonas de relevo aplanado.

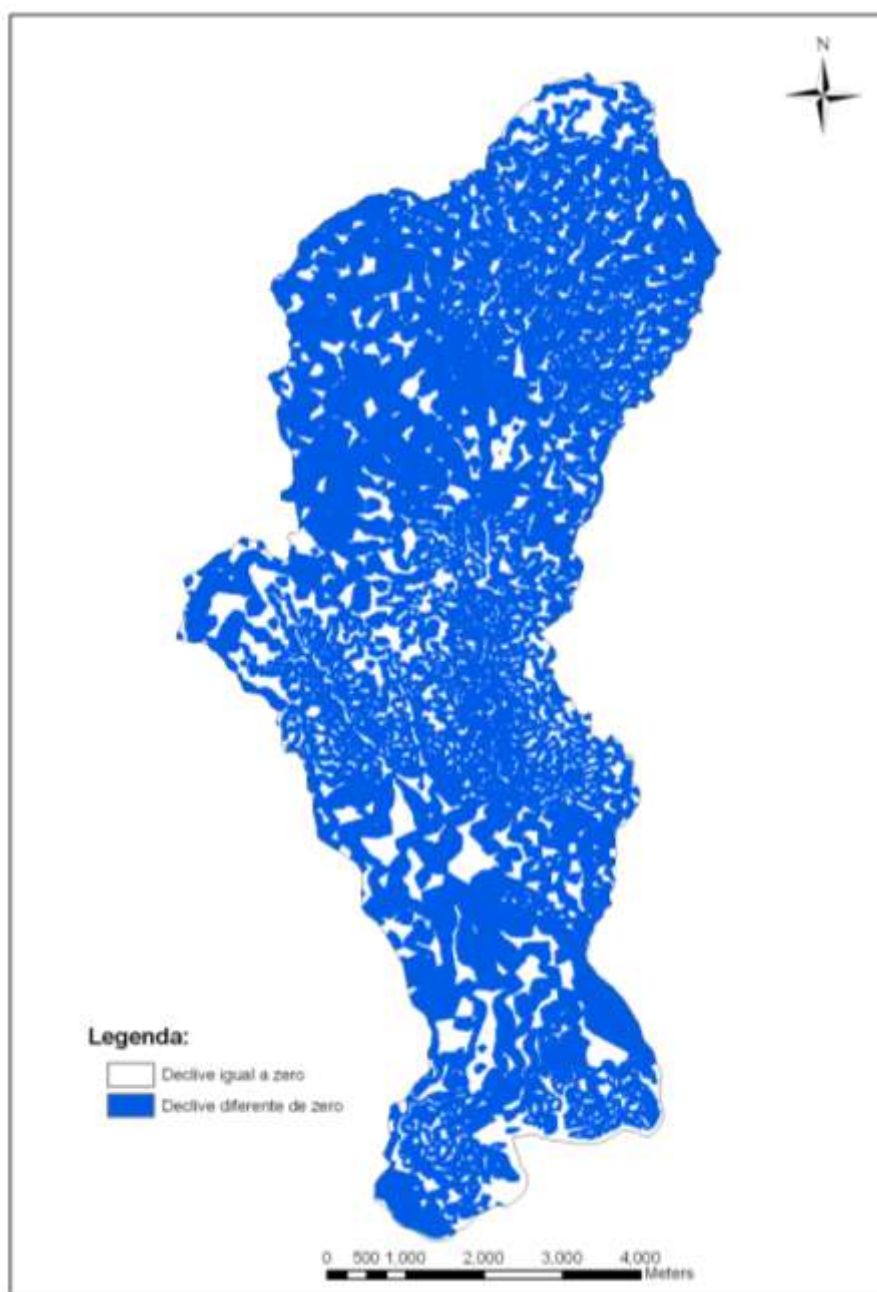


Figura 5.5 - Carta com zonas com Declive igual a zero e diferente de zero.

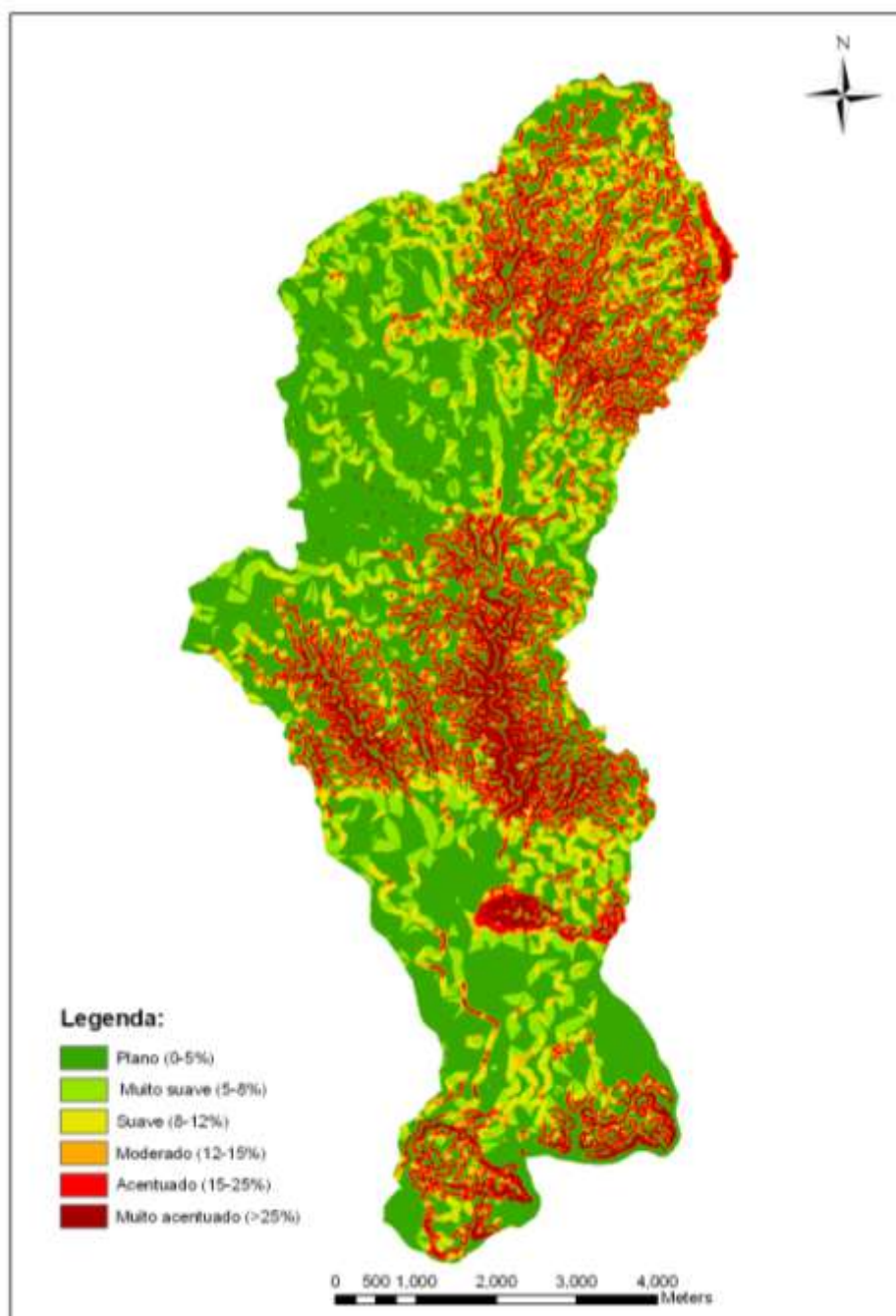


Figura 5.6 - Carta de Declives (%) reclassificada em seis classes.

Através da análise da Figura 5.7 pode observar-se que a classe mais representativa de declives é a classe correspondente aos declives mais baixos (0-5%) que ocupam cerca de 46% da bacia. As classes 5-8%, 8-12% e 15-25% abrangem, cada uma delas, aproximadamente 13% da área. As classes >25% (8.50%) e 12-15% (6.71%) são as menos representativas.

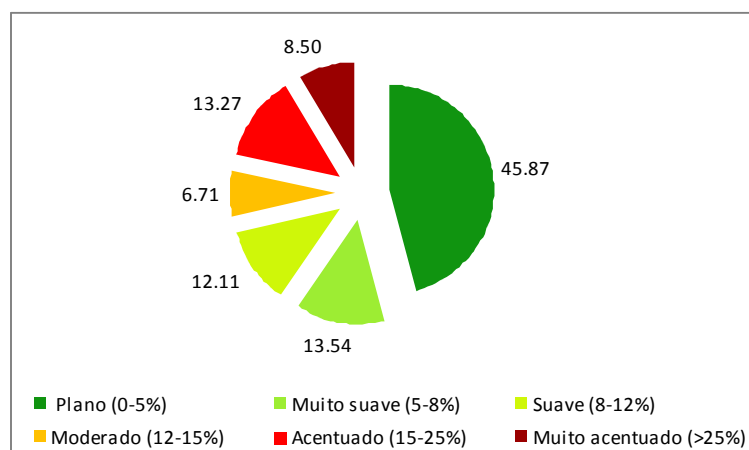


Figura 5.7 - Áreas relativas (%) das diferentes classes de Declive.

#### 5.1.4 Orientação das encostas

Constata-se, através da análise da Figura 5.8 e da Figura 5.9, que na bacia hidrográfica em estudo predominam as orientações sul (25.11%) e oeste (23.73%) que, em conjunto, perfazem praticamente metade da bacia. Ou seja, dominam as orientações que recebem uma maior quantidade de radiação solar, portanto mais quentes. As áreas planas e expostas a este ocupam cerca de 18-19% da bacia. As encostas expostas a norte correspondem à classe menos significativas, perfazendo cerca de 14% da área. Em termos espaciais não se nota qualquer tendência em relação a este parâmetro.



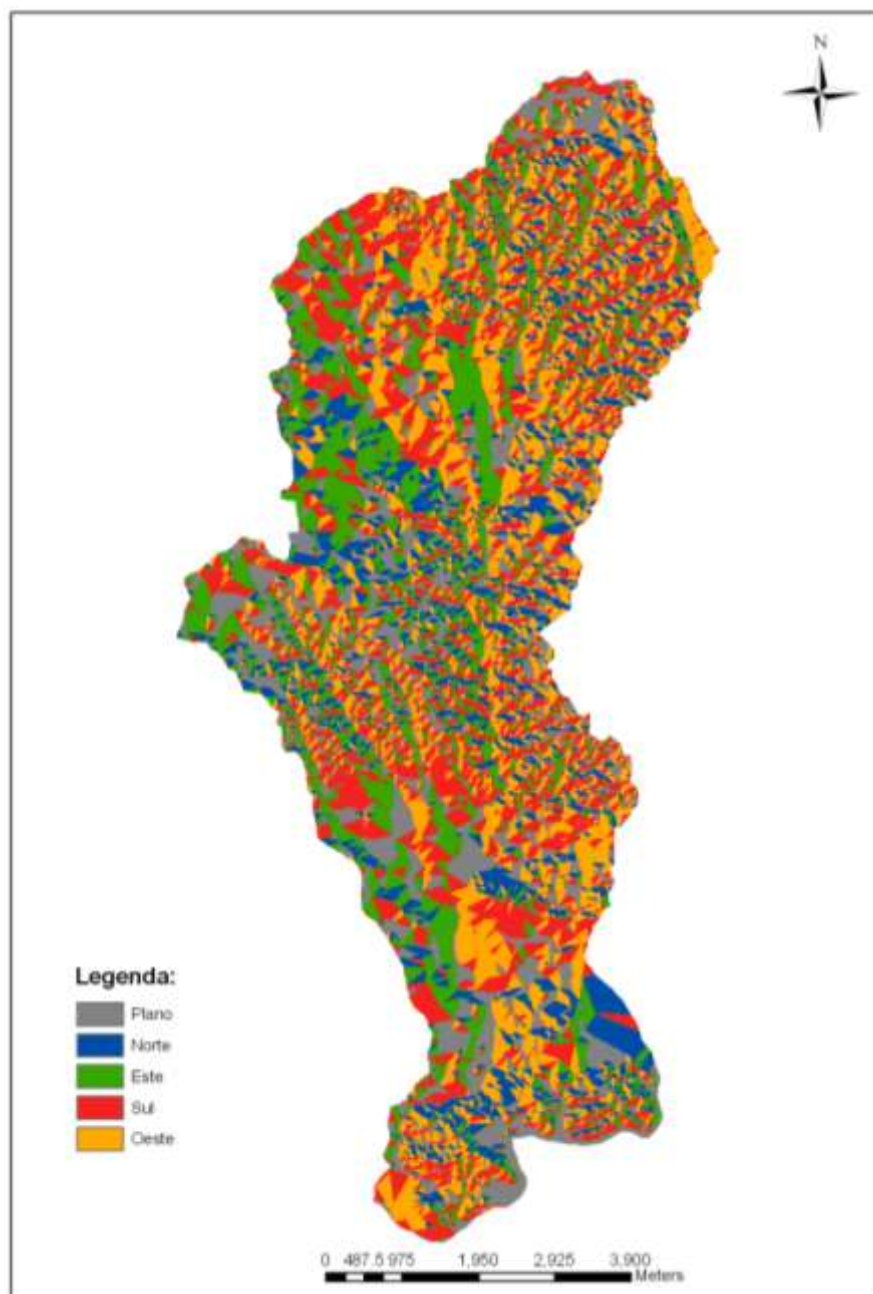


Figura 5.8 - Carta de Orientação das Encostas reclassificada em cinco classes.

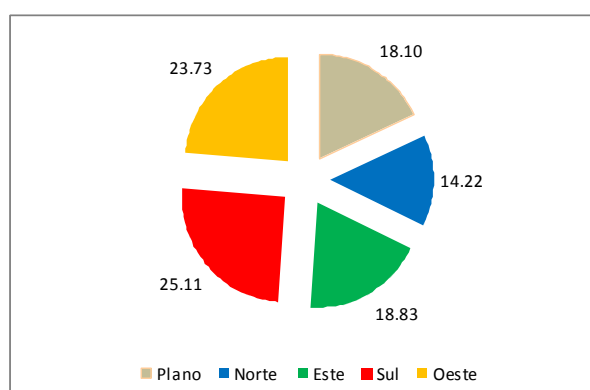


Figura 5.9 - Áreas relativas (%) das diferentes classes de Orientação das Encostas.



### 5.1.5 Humidade do solo

Apresenta-se na Figura 5.10 a carta do Índice de Humidade do solo e na Figura 5.11 as áreas relativas das diferentes classes do índice.

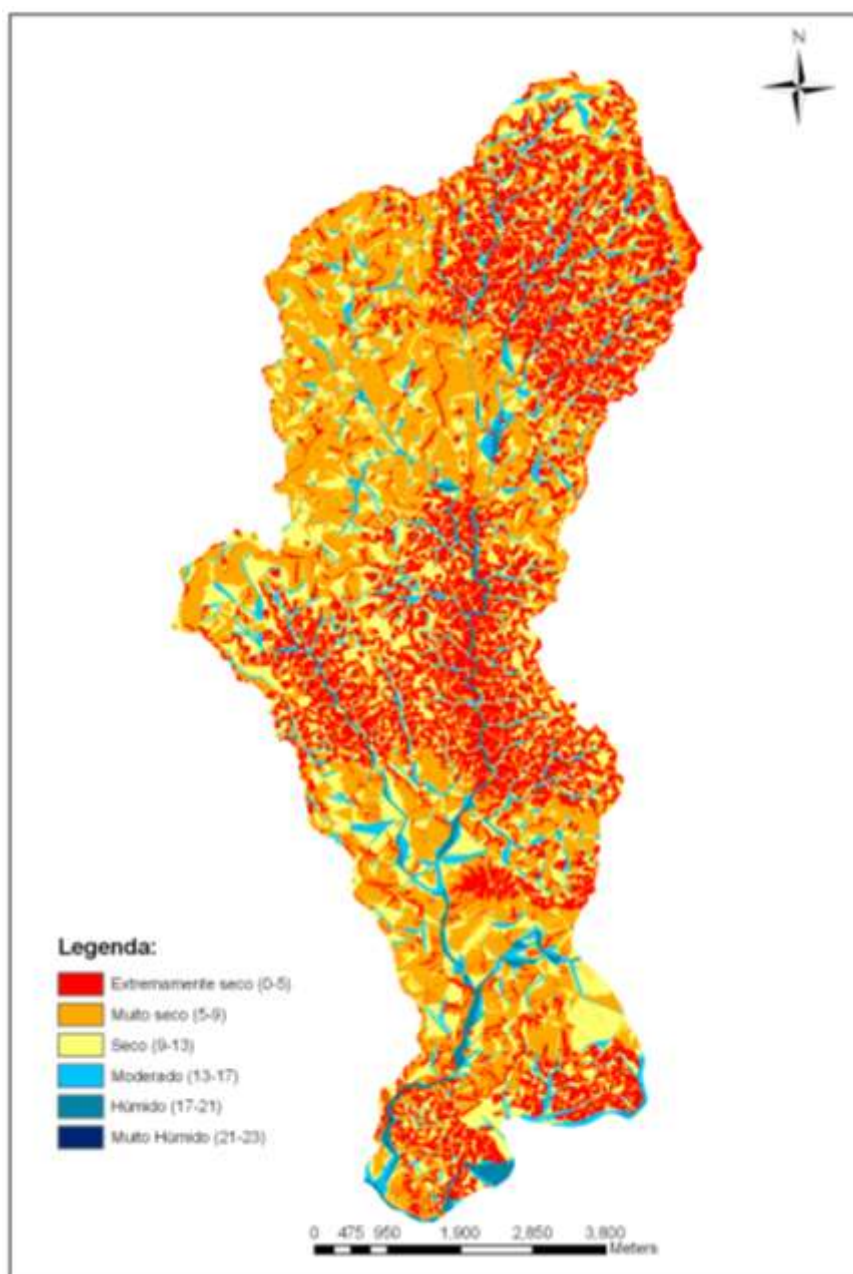


Figura 5.10 - Carta do Índice de Humidade do Solo reclassificado em seis classes.

No que diz respeito ao Índice de Humidade pode verificar-se que na bacia hidrográfica em análise predominam as classes correspondentes a zonas muito secas (cerca de 40%) e

extremamente secas (aproximadamente 28%). Segue-se a classe correspondente às zonas secas (22.44%).

As zonas referentes à classe com valores moderados do índice abrangem cerca de 8% da bacia. As classes correspondentes às zonas húmidas e muito húmidas ocupam uma área mínima (1.86% e 0.05% respectivamente). Como seria de esperar, as zonas de cabeceira e as zonas mais declivosas são caracterizadas por menor disponibilidade hídrica enquanto que as zonas dos vales das principais linhas de água possuem valores mais elevados do Índice de Humidade. Também se identificam facilmente as principais linhas de água, Ribeiro do Canas e da Ribeira de Santa Susana, pelo valor mais elevado do Índice de Humidade.

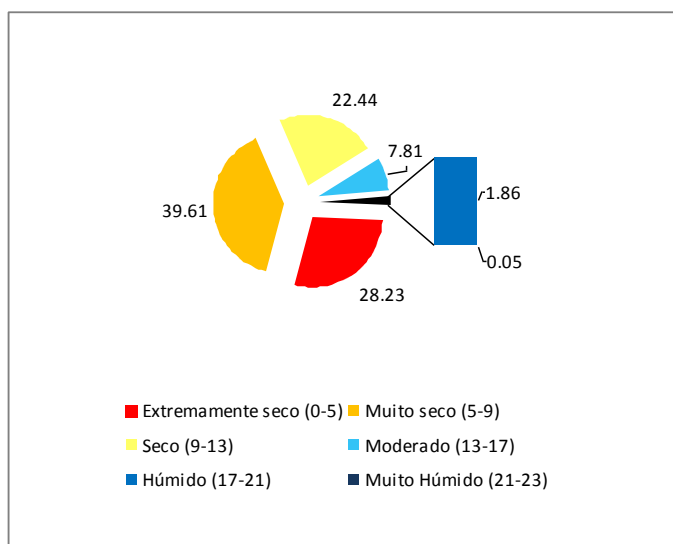


Figura 5.11 - Áreas relativas (%) das diferentes classes do Índice de Humidade do Solo.

### 5.1.6 Radiação

Na bacia hidrográfica em estudo dominam, em relação ao parâmetro Radiação Solar Global (Figura 5.12 e Figura 5.13), as classes correspondentes aos valores mais altos e altos. Estas duas classes perfazem cerca de 90% da área. A classe referente aos valores médios tem uma

representatividade muito mais baixa, cerca de 8%. As zonas que recebem a menor quantidade de radiação solar, “Baixa” e “Muito baixa” têm uma expressão insignificante.

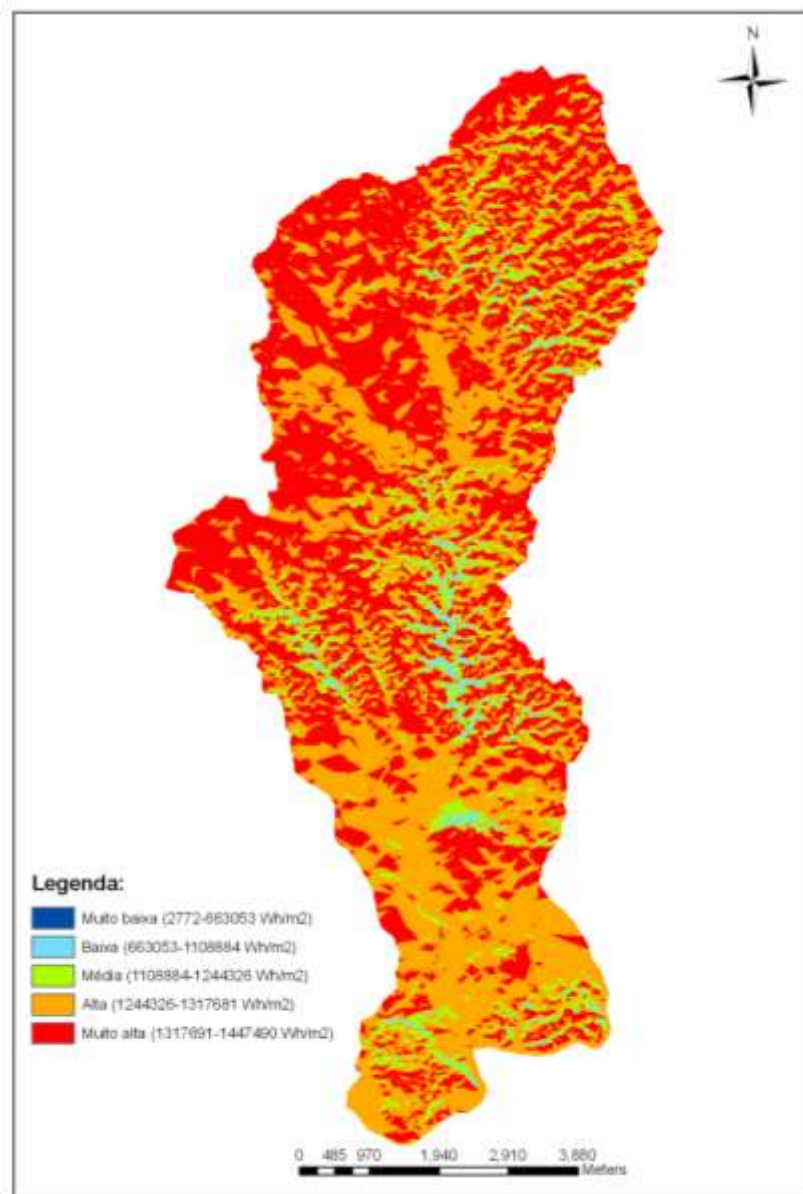


Figura 5.12 - Carta da Radiação Solar Global reclassificada em cinco classes.

Estes resultados estão de acordo com a análise já efectuada para a Exposição de Vertentes que revelou que na bacia em estudo dominam as exposições de Sul e Oeste. Nota-se uma influência nítida do relevo. Assim, as zonas expostas ao quadrante Norte têm valores mais baixos, enquanto que as zonas expostas ao quadrante Sul e zonas planas têm valores mais

elevados. As zonas que recebem menor quantidade de radiação solar encontram-se nos vales mais encaixados das principais linhas de água e na vertente norte da Serra da Lapa.

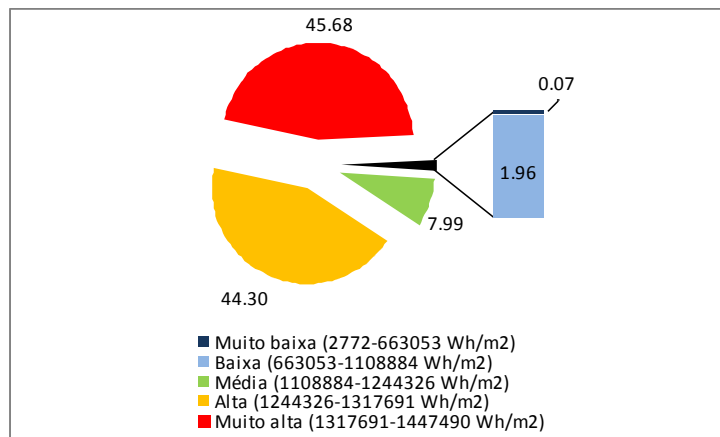


Figura 5.13 - Áreas relativas (%) das diferentes classes de Radiação Solar Global.

### 5.1.7 Solos e valor ecológico dos solos

Apresenta-se na Tabela 5.2 as Famílias de solos e a respectiva representatividade (% área) e na Figura 5.14 as Ordens de Solos. Dada o elevado número de famílias de solo, o que não possibilita a sua representação gráfica, optou-se por apresentar as Ordens de Solos.

Não há uma família de solos claramente dominante. Há quatro famílias de solos aproximadamente com a mesma representatividade, entre 12% e 15%: “Aluviossolos Modernos, Não Calcários, de textura mediana”, “Aluviossolos Modernos, Não Calcários, de textura pesada”, “Aluviossolos Antigos, Não Calcários, de textura mediana” e “Aluviossolos Antigos, Não Calcários, de textura pesada” e ainda “Afloramento Rochoso de xistos ou grauvaques”.

A Ordem de solos com maior representatividade na área de estudo diz respeito aos solos argiluvitados pouco insaturados (cerca de 72%), que correspondem a solos mediterrâneos. Segue-se a Ordem relativa aos solos incipientes (aproximadamente 18%), solos

hidromórficos (7%) e solos calcários (3%). Os solos litólicos ocupam uma percentagem mínima.

Tabela 5.2 - Áreas relativas das diferentes Famílias de solos.

Família	Área (%)
Solos Incipientes - Aluviossolos Modernos, Não Calcários, de textura mediana	15.3
Solos Incipientes - Aluviossolos Modernos, Não Calcários, de textura pesada	13.9
Afloramento Rochoso de xistos ou grauvaques	13.0
Solos Incipientes - Aluviossolos Antigos, Não Calcários, de textura mediana	12.9
Solos Incipientes - Aluviossolos Antigos, Não Calcários, de textura pesada	12.4
Solos Hidromórficos, Sem Horizonte Eluvial, Para-Aluviossolos (ou Para-Coluviossolos), de aluviões ou coluviais de textura mediana	5.7
Solos Hidromórficos, Sem Horizonte Eluvial, Para-Aluviossolos (ou Para-Coluviossolos), de aluviões ou coluviais de textura ligeira	4.9
Solos Incipientes - Litossolos dos Climas de Regime Xérico, de xistos ou grauvaques	2.8
Solos Argiluvitados Pouco Insaturados - Solos Mediterrâneos, Pardos, de Materiais Não Calcários, Para-Solos Hidromórficos, de arenitos ou conglomerados argilosos ou argilas (de textura arenosa ou franco-arenosa)	2.2
Solos Litólicos, Não Húmicos Pouco Insaturados, Normais, de materiais arenáceos pouco consolidados (de textura arenosa a franco-arenosa)	2.1
Solos Argiluvitados Pouco Insaturados - Solos Mediterrâneos, Pardos, de Materiais Calcários, Para-Barros, de calcários margosos associados a arcoses ou rochas afins	1.8
Solos Calcários, Pardos dos Climas de Regime Xérico, Para-Barros, de formações argiláceas associadas a depósitos calcários	1.7
Solos Calcários, Pardos dos Climas de Regime Xérico, Normais de arenitos grosseiros associados a depósitos calcários	1.6
Solos Hidromórficos, Sem Horizonte Eluvial, Para-Barros, de margas ou calcários margosos ou arenitos calcários	1.6
Solos Argiluvitados Pouco Insaturados - Solos Mediterrâneos, Pardos, de Materiais Calcários, Para-Solos Hidromórficos, de arcoses ou rochas afins associadas a depósitos calcários	1.5
Solos Argiluvitados Pouco Insaturados - Solos Mediterrâneos, Pardos, de Materiais Não Calcários, Para-Solos Hidromórficos, de arcoses ou rochas afins	1.4
Solos Argiluvitados Pouco Insaturados - Solos Mediterrâneos, Pardos, de Materiais Não Calcários, Para-Barros, de dioritos ou quartzodioritos ou rochas microfaneríticas ou cristalofílicas afins	1.1
Solos Argiluvitados Pouco Insaturados - Solos Mediterrâneos, Vermelhos ou Amarelos, de Materiais Não Calcários, Normais, de rochas cristalofílicas	1.1
Solos Argiluvitados Pouco Insaturados - Solos Mediterrâneos, Pardos, de Materiais Não Calcários, Normais, de xistos ou grauvaques	0.7
Solos Argiluvitados Pouco Insaturados - Solos Mediterrâneos, Vermelhos ou Amarelos, de Materiais Não Calcários, Normais, de de "rañas" ou depósitos afins	0.5
Solos Argiluvitados Pouco Insaturados - Solos Mediterrâneos, Vermelhos ou Amarelos, de Materiais Calcários, Para-Barros, de margas ou calcários margosos	0.5
Solos Calcários, Vermelhos dos Climas de Regime Xérico, Normais, de xistos ou grauvaques associados a depósitos calcários	0.4
Solos Argiluvitados Pouco Insaturados - Solos Mediterrâneos, Vermelhos ou Amarelos, de Materiais Calcários, Para-Hidromórficos, de arcoses ou rochas afins associadas a depósitos calcários	0.3
Litólicos, Não Húmicos, Pouco Insaturados Normais, de arenitos grosseiros	0.2
Solos Argiluvitados Pouco Insaturados - Solos Mediterrâneos, Vermelhos ou Amarelos, de Materiais Não Calcários, Normais, de xistos ou grauvaques	0.2

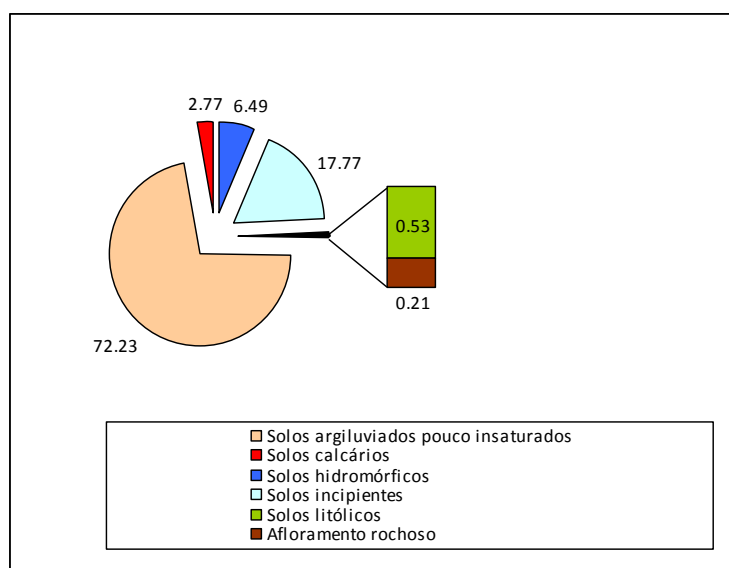


Figura 5.14 - Áreas relativas (%) das diferentes Ordens dos Solos.

A Figura 5.15 ilustra a carta do Valor Ecológico dos Solos e a Figura 5.16 as áreas relativas das diferentes classes. Na bacia em estudo predominam solos de elevado valor ecológico (45.72%). Em termos de representatividade segue-se a classe referente aos solos de reduzido valor ecológico (27.47%) e a classe respeitante aos solos de valor ecológico variável (13.74%). As classes “Solos de muito reduzido valor ecológico” e “Solos de muito elevado valor ecológico” ocupam uma percentagem muito reduzida, respectivamente 6.29% e 4.38%. As zonas correspondentes a áreas sociais e águas continentais correspondem a uma área mínima (2.41%) da bacia.

Observam-se duas manchas correspondentes a solos de elevado valor ecológico separadas por uma mancha central de solos de reduzido valor ecológico. As zonas de solos de muito elevado valor ecológico situam-se nos vales das principais linhas de água.

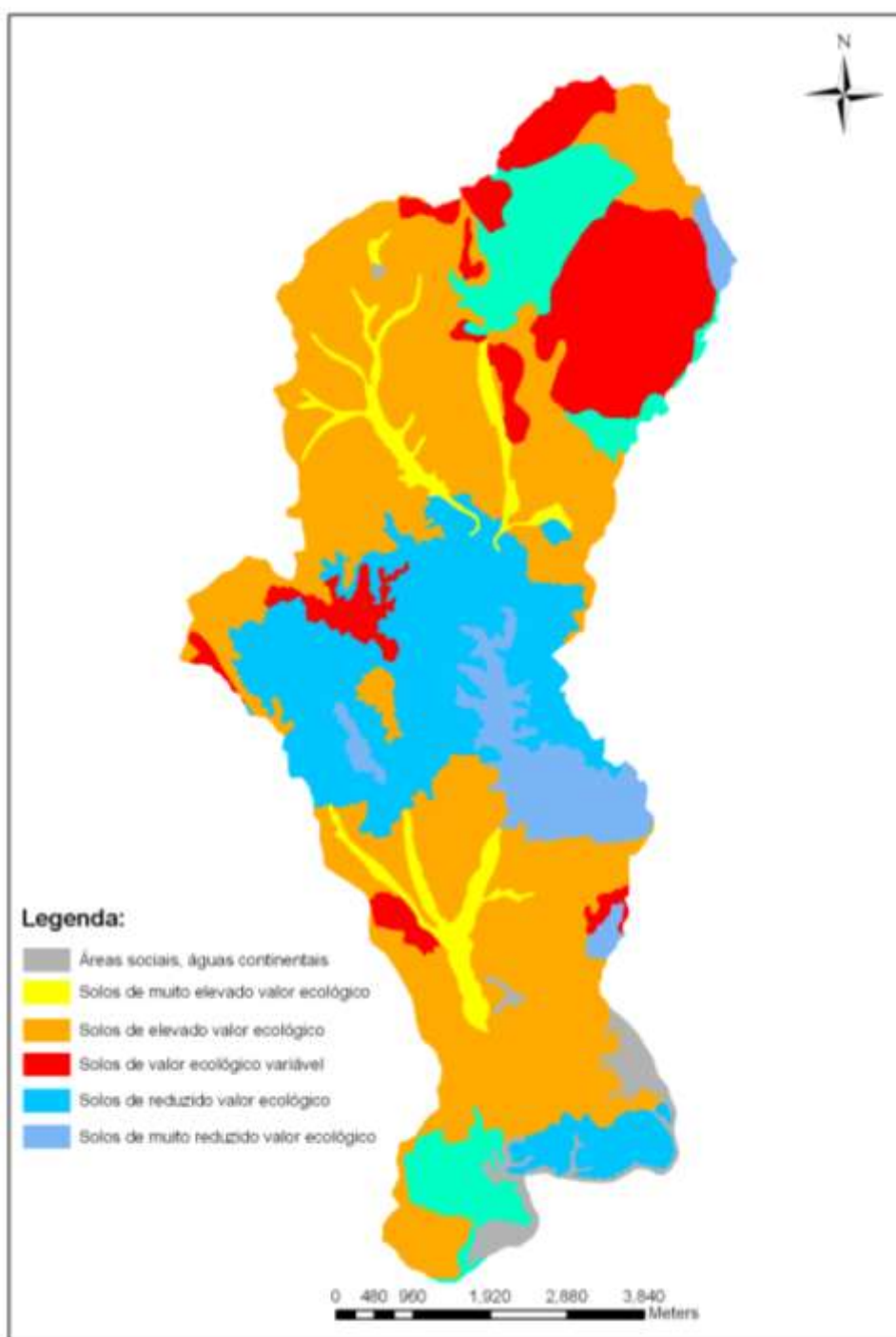


Figura 5.15 - Valor Ecológico dos Solos.

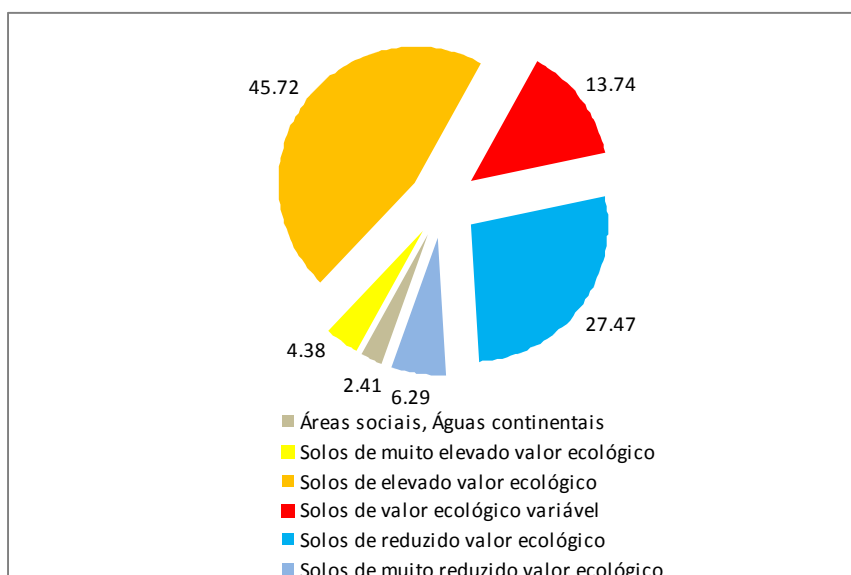


Figura 5.16 - Áreas relativas (%) das diferentes classes de Valor Ecológico dos Solos.

## 5.2 Cartas de ocupação do solo

Apresentam-se, em primeiro lugar, para as várias datas em análise, as cartas de ocupação do solo, que permitem observar a distribuição espacial das diferentes classes de ocupação, e ainda um gráfico com a área (em %) correspondente às várias classes.

### 5.2.1 1895

Na Figura 5.17 apresenta-se a Carta de Ocupação do Solo da área de estudo em 1895 e na Figura 5.18 as áreas relativas das diferentes classes para esta data.



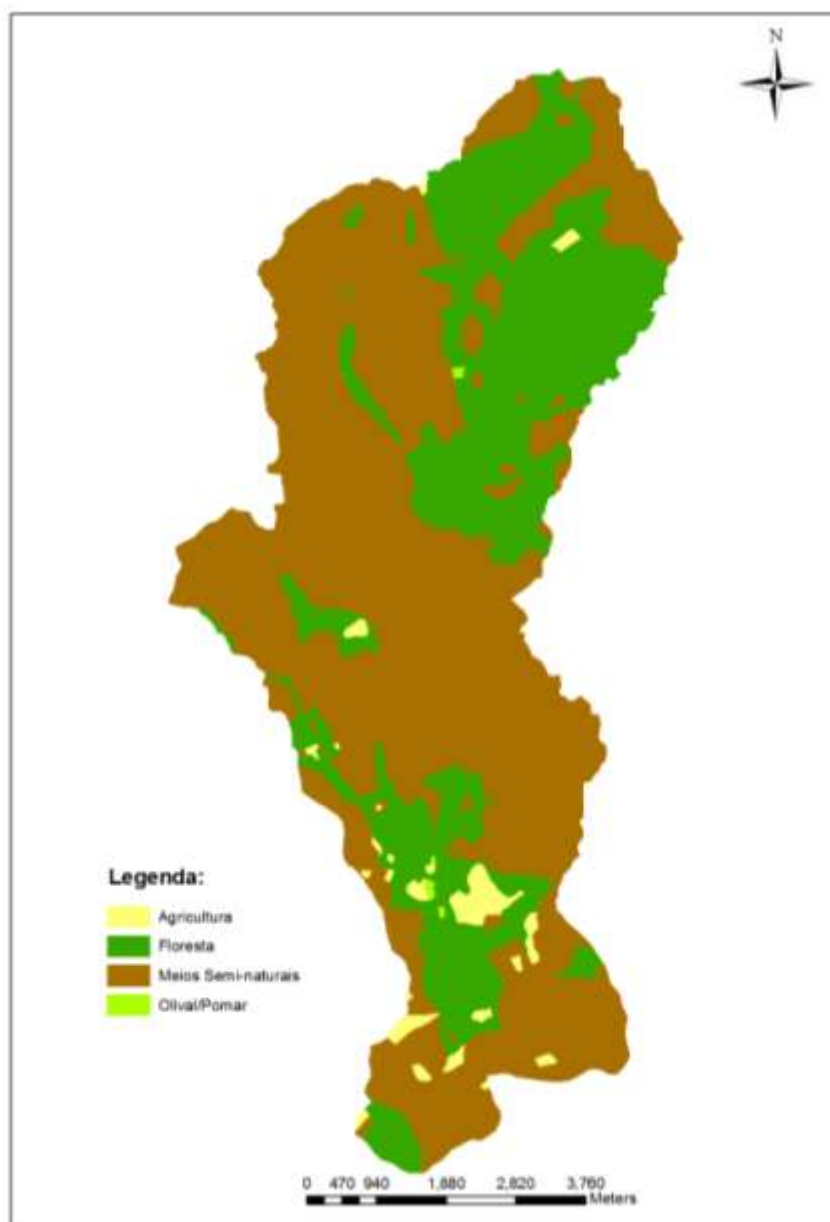


Figura 5.17 - Carta de Ocupação do Solo em 1895.

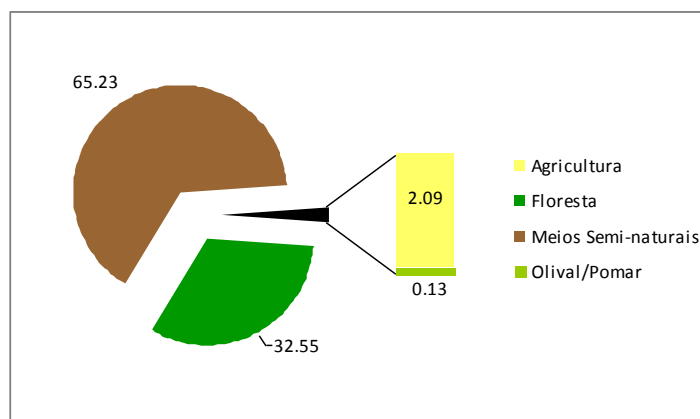


Figura 5.18 - Áreas relativas das diferentes classes de Ocupação do Solo em 1895.

A ocupação do solo em 1895 era essencialmente dominada pelos “Meios semi-naturais” que constituíam aproximadamente 65% da área de estudo. Este tipo de ocupação do solo era caracterizado por largas extensões de charnecas e matos e por algumas áreas de pousio e de pastagens naturais. A ocupação florestal nesta época correspondia a cerca de 33% da bacia. Em 1895 os espaços agrícolas constituíam uma percentagem bastante baixa da área de estudo, aproximadamente 2.1%. A classe representada pelo “Olival/Pomar” abrangia cerca de 0.13% da área de estudo, com uma reduzida expressão comparativamente às restantes classes.

### **5.2.2 1963**

A Figura 5.19 ilustra a Carta de Ocupação do Solo da área de estudo em 1963 e a Figura 5.18 a área (%) referente às várias classes de ocupação.

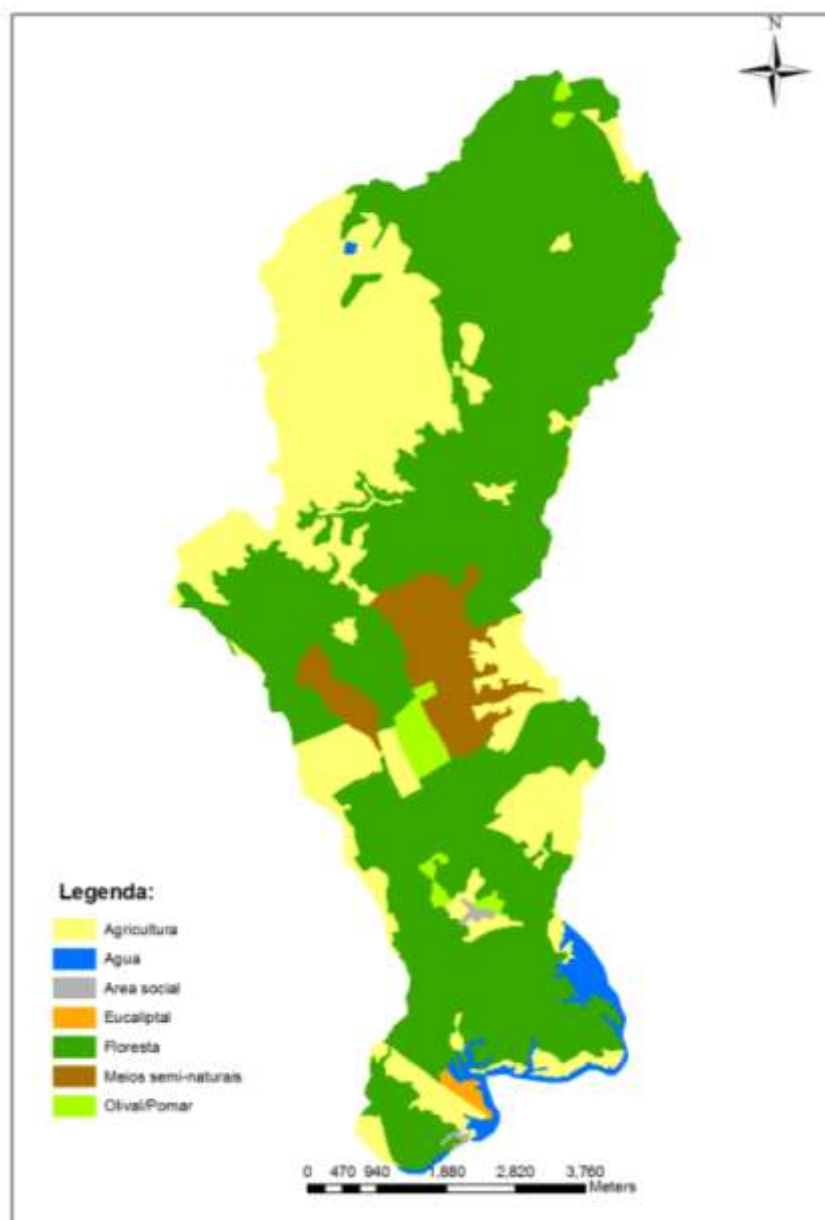


Figura 5.19 - Carta de Ocupação do Solo em 1963.

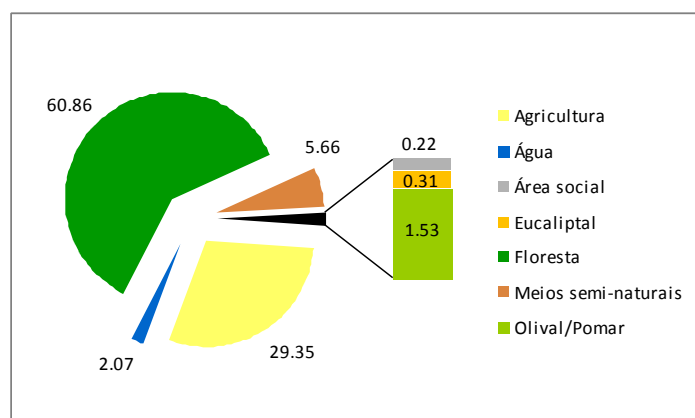


Figura 5.20 - Áreas relativas (%) das diferentes classes de Ocupação do Solo em 1963.

Em relação à data anterior, verifica-se que aparecem novas classes de uso do solo: “Área social”, “Eucaliptal” e “Água”. Em 1963 a bacia hidrográfica do Ribeiro do Canas era marcada sobretudo pela presença da classe “Floresta” que ocupava cerca de 61% da área. A “Agricultura” constituía aproximadamente 29% da bacia. Os “Meios semi-naturais” representavam quase 6% da área total. Quanto à classe “Olival/Pomar”, possuía, naquela data, uma representatividade diminuta (1.53%). O tecido urbano representava apenas 0.22% da área total. A presença da classe “Água” (2.07%) é pouco expressiva, confinada na sua maior parte à albufeira da barragem do Pego do Altar, entretanto construída. Os povoamentos de eucalipto tinham, nesta data, uma representatividade bastante reduzida (0.31%) caracterizados apenas por uma pequena mancha no limite inferior da bacia, próximo da barragem. Pode observar-se que a agricultura, no geral, era praticada nas zonas de declive menos acentuado. As duas manchas referentes aos “Meios semi-naturais” ocupam uma zona bastante declivosa da bacia, correspondente a troços quer da Ribeira de Santa Susana quer da Ribeira do Canas.

### **5.2.3 1990**

Na Figura 5.21 apresenta-se a Carta de Ocupação do Solo da área de estudo em 1990 e na Figura 5.22 as áreas (%) referentes às várias classes de ocupação.

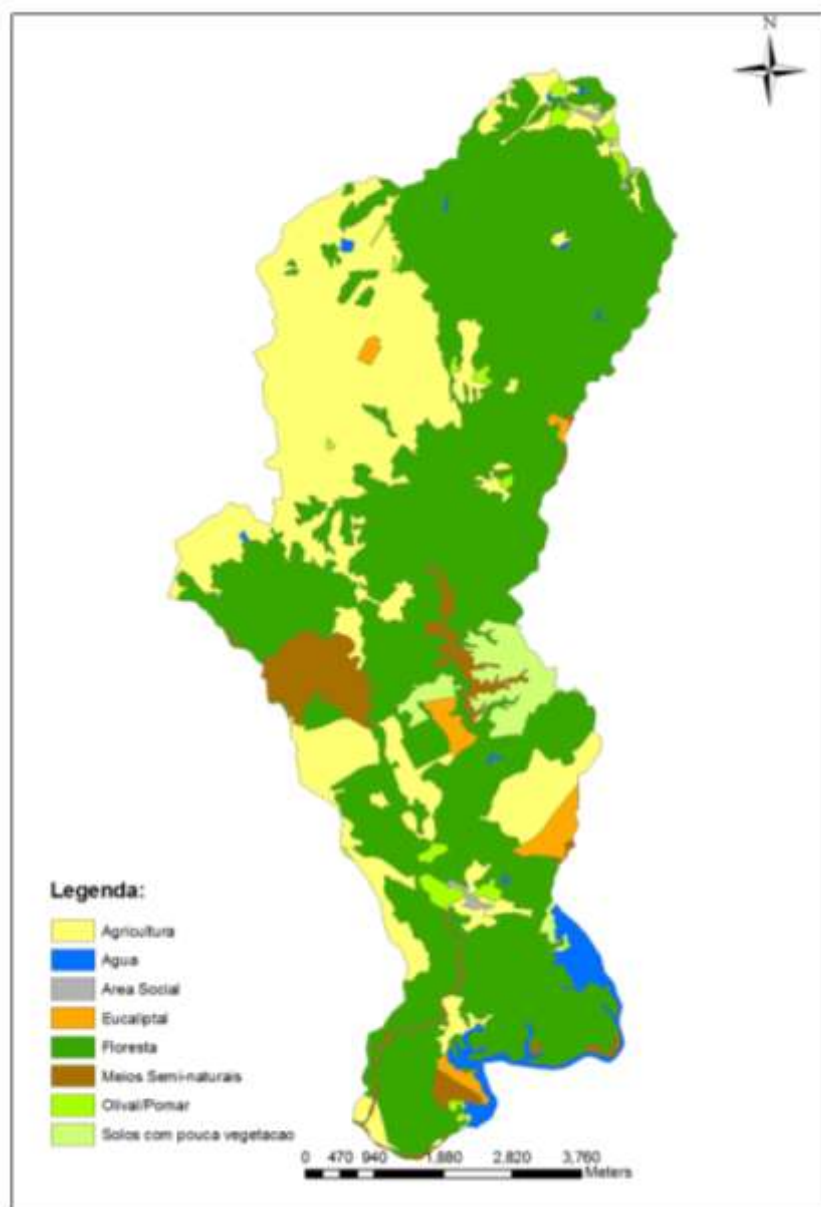


Figura 5.21 - Carta de Ocupação do Solo em 1990.

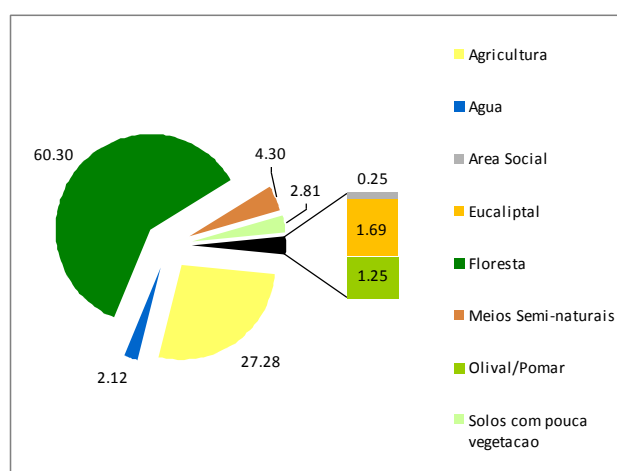


Figura 5.22 - Áreas relativas (%) das diferentes classes de Ocupação do Solo em 1990.

Em 1990 a classe “Floresta” continua a dominar a ocupação do solo (cerca de 60%). A “Agricultura”, com bastante menor expressão, diminuiu ligeiramente a sua representatividade, de 29.35% para 27.28%. Os “Meios semi-naturais” sofrem um ligeiro decréscimo, em comparação com o período antecedente, passando para 4.3%. Em termos de crescimento urbano, nota-se uma ligeira expansão, de 0.22% para 0.25%. Em relação às datas anteriores verifica-se, em 1990, o aparecimento de uma nova classe: “Solos com pouca vegetação”. Esta classe deve o seu aumento principalmente à preparação de terrenos para a implantação de “Floresta”, nomeadamente de eucaliptais. Algumas zonas no limite da albufeira do Pego do Altar, que não possuem vegetação, foram também incluídas nesta classe. Em 1963 estas zonas encontravam-se incluídas na classe “Agricultura”. A classe “Olival/Pomar” assiste a uma diminuição ligeira, de 1.53% para 1.25%, principalmente devido a uma grande mancha que foi convertida em “Floresta”. De referir ainda que a classe “Eucaliptal” sofre um aumento de 0.31% em 1963 para 1.69% em 1990. Quer esta classe quer a classe “Solos com pouca vegetação” encontram-se a ocupar zonas muito declivosas.

#### **5.2.4 2004/05**

A Figura 5.23 ilustra a Carta de Ocupação do Solo da área de estudo em 2004/05 e a Figura 5.24 as áreas (%) referentes às várias classes de ocupação.

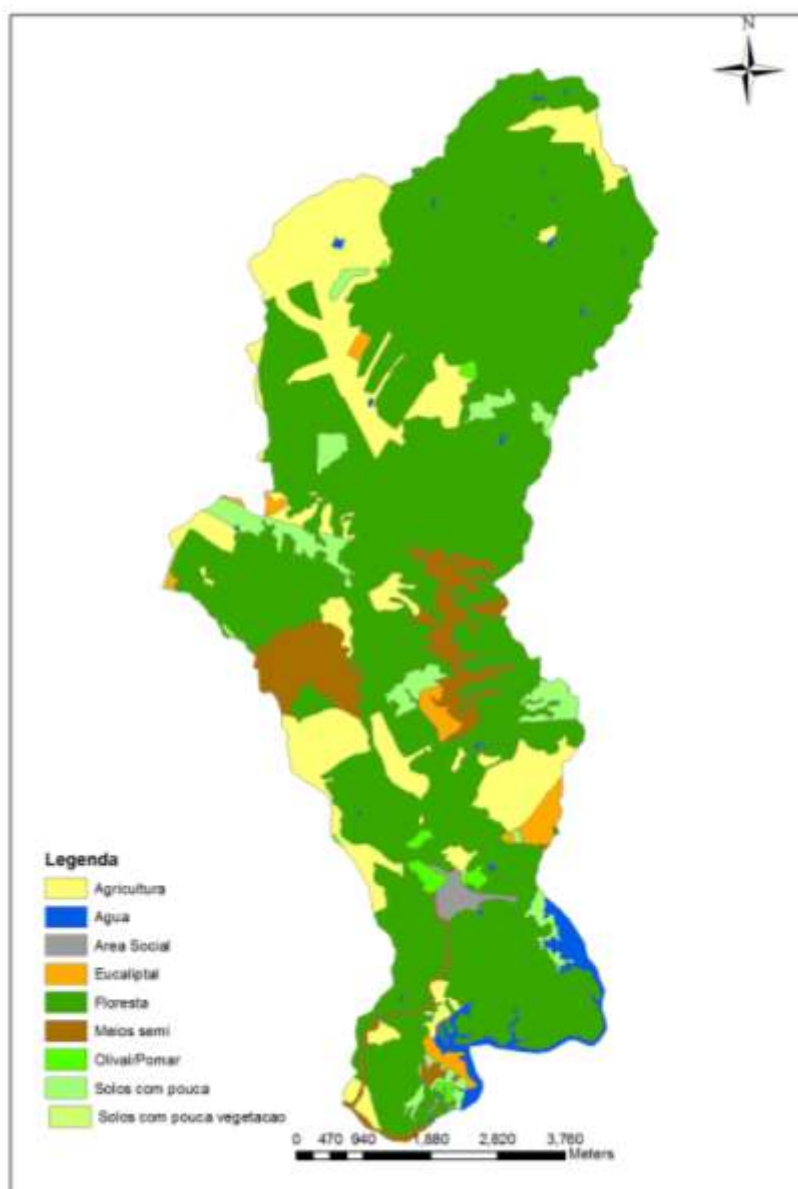


Figura 5.23 - Carta de Ocupação do Solo em 2004/05.

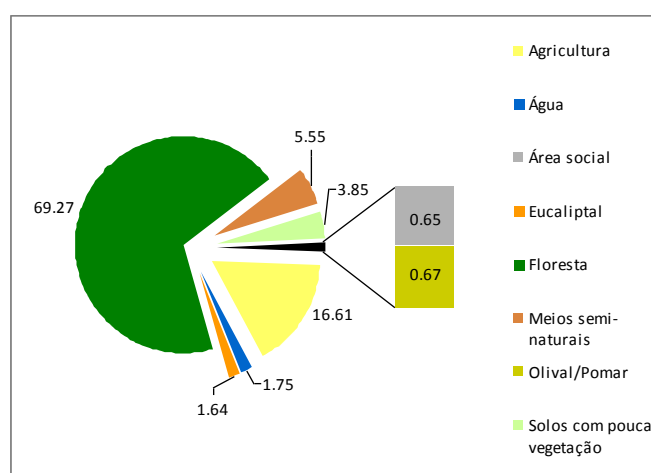


Figura 5.24 - Áreas relativas (%) das diferentes classes de Ocupação do Solo em 2004/05.

A ocupação do solo da área de estudo não registou grandes diferenças relativamente ao ano de 1990. Constata-se um aumento da área de “Floresta” de 60.3% para 69.27%. Esta classe de uso do solo continua a ser a dominante. A “Agricultura” sofreu uma redução considerável, passando de cerca de 27% para 17%. Os “Meios semi-naturais” tiveram um aumento muito ligeiro. Relativamente à classe “Solos com pouca vegetação”, nota-se uma expansão também muito ligeira. As restantes classes têm muito fraca expressão. A classe “Olival/Pomar” diminuiu a sua representatividade. Quanto à área ocupada pelo “Eucaliptal” verifica-se que sofreu uma ligeira redução.

### **5.3 Evolução espacial e temporal da ocupação do solo**

A evolução da ocupação do solo na área de estudo, ao longo do tempo, referente às três classes mais representativas (“Floresta”, “Agricultura” e “Meios semi-naturais”) apresenta-se na Figura 5.25. Pode constatar-se que a “matriz” da paisagem passou dos “Meios semi-naturais” em 1895 para “Floresta” nas datas posteriores.

Os “Meios semi-naturais” no ano de 1895 ocupavam a maior parte da bacia em estudo tendo sofrido uma diminuição drástica entre 1895 e 1963. A partir desta data esta classe de ocupação do solo não sofre alterações consideráveis.

No que diz respeito à “Agricultura”, esta classe ocupa uma percentagem muito baixa da área de estudo (cerca de 2%) no ano de 1985 e, no espaço de 68 anos, aumenta substancialmente, até atingir os 29%. Entre 1963 e 2004/05 a “Agricultura” conhece uma diminuição da sua representatividade, mais significativa entre 1990 e 2004/05. Nesta última data os espaços agrícolas perfazem cerca de 17% da área total.



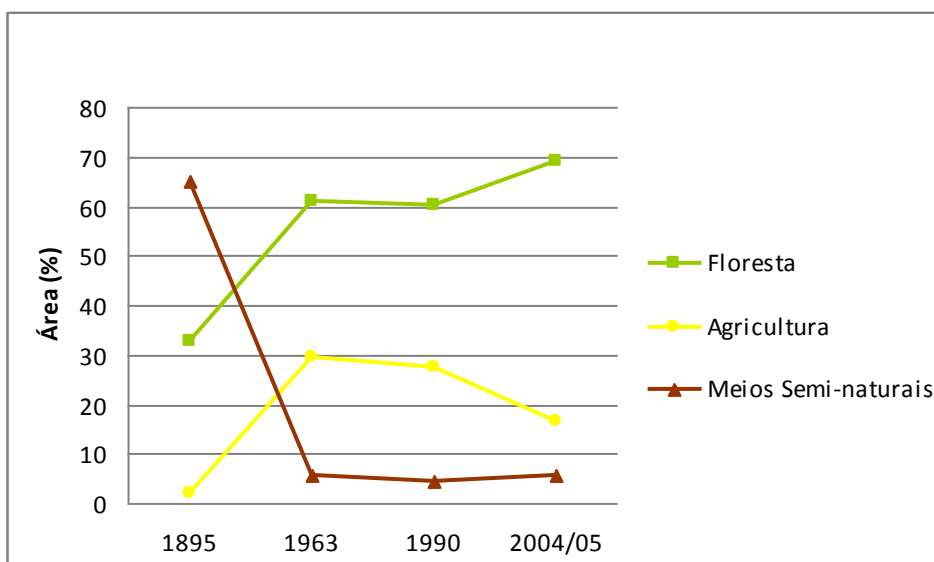


Figura 5.25 - Evolução da área relativa das três classes de ocupação do solo mais representativas.

A classe “Floresta” manifesta um aumento acentuado entre 1895 e 1963, um decréscimo insignificante entre 1963 e 1990 e um acréscimo razoável entre 1990 e 2004/05.

Para facilitar a análise optou-se por representar as cinco classes restantes (“Olival/Pomar”, “Área social”, “Eucaliptal”, “Água” e “Solos com pouca vegetação”) separadamente (Figura 5.26), pelo facto de terem uma representatividade muito pequena e portanto não terem leitura quando são consideradas todas as classes de ocupação.

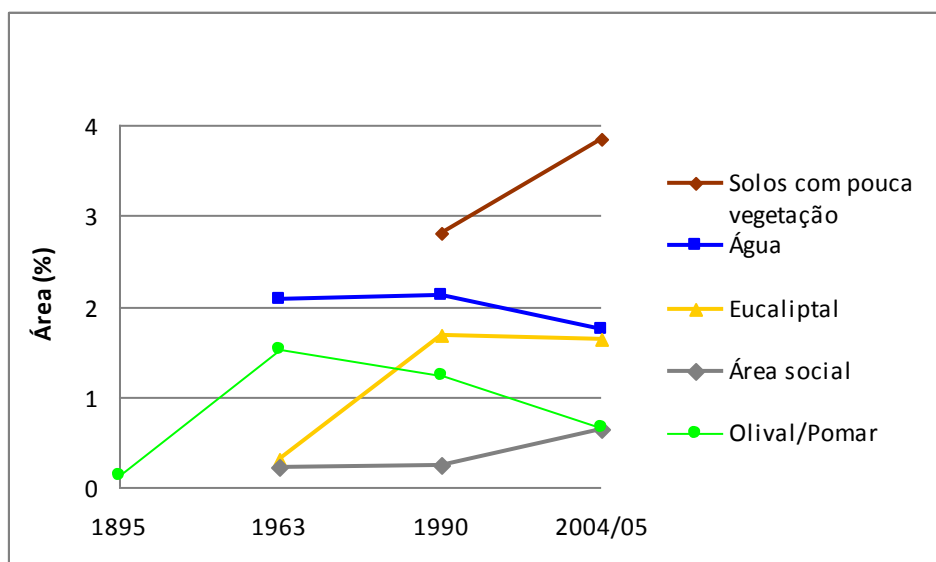


Figura 5.26 - Evolução da área relativa das cinco classes de uso do solo com menor representatividade.

A classe representada pelos “Solos com pouca vegetação” surgiu no ano de 1990, ocupando então 2,8% da área de estudo. Até 2004/05 sofre uma expansão, passando para uma percentagem de ocupação de cerca de 4%.

Em 1963 a classe “Água” ocupava aproximadamente de 2.06% da área de estudo. Entre esta data e 1990 verifica-se um ligeiro acréscimo da sua representatividade, e posteriormente um decréscimo, passando a ocupar, na data mais tardia 1.75% da bacia hidrográfica.

A representatividade da classe “Olival/Pomar” ao longo do intervalo de tempo em estudo nunca foi muito significativa (nunca excedeu 1.3%). Em 1895 a área ocupada por esta classe era mínima, tendo conhecido um aumento em 1963. Após esta data verifica-se uma diminuição progressiva da percentagem de ocupação.

O “Eucaliptal” é uma classe que surge em 1963 (0.31%) e apresenta sempre uma variação positiva da representatividade. O aumento da área ocupada é um pouco mais acentuado entre 1963 e 1990 do que entre 1990 e 2004/05.

Em termos de “Área social”, assiste-se a uma ligeira expansão entre 1963 e 1990 e um aumento um pouco mais acentuado entre 1990 e 2004/05.

## **5.4 Parâmetros biofísicos por classe de ocupação do solo**

Em seguida apresenta-se uma análise do cruzamento entre a informação referente ao uso do solo e aquela relativa aos vários parâmetros biofísicos, com a finalidade de investigar as relações entre os dois tipos de informação. O cruzamento da informação eventualmente permitirá reconhecer áreas onde não se verifique uma adequabilidade entre o tipo de ocupação do solo e as suas características.

Na Figura 5.2727 pode observar-se a distribuição das classes de ocupação do solo em função da altimetria, para as várias datas em análise. A floresta, em todas as datas analisadas, ocupa todas as classes de altimetria. Excepto em 2005/05 há uma tendência da agricultura ser praticada em zonas correspondentes a classes de menor valor de altitude. Os meios semi-naturais que em 1895 ocupavam zonas de uma vasta gama de valores de altitude, passaram a estar restritos, nas datas posteriores, a zonas de menor altitude. O uso do solo dominante nas zonas de altitude mais elevada é a floresta.

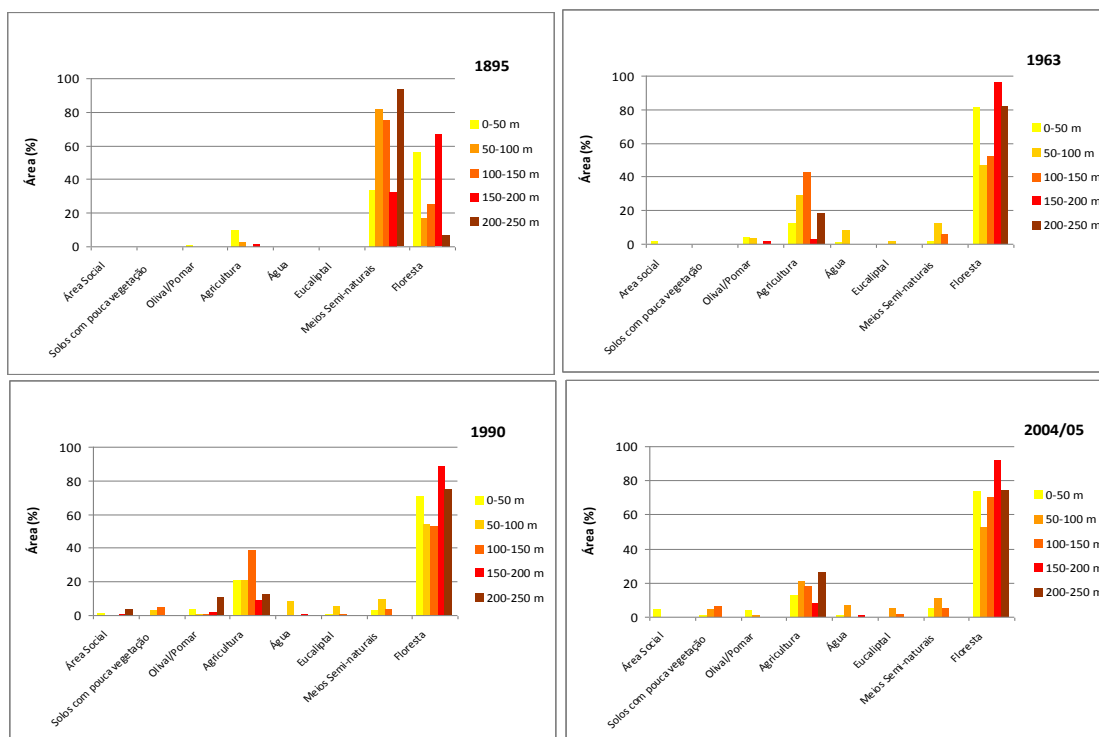


Figura 5.27 - Altimetria por classes de ocupação do solo.

Verifica-se (Figura 5.28) que a agricultura, no geral, é praticada em zonas menos declivosas.

Pelo contrário, os meios semi-naturais, excepto em 1895, ocupam zonas com declive acentuado. As florestas localizam-se todas as classes de declive.

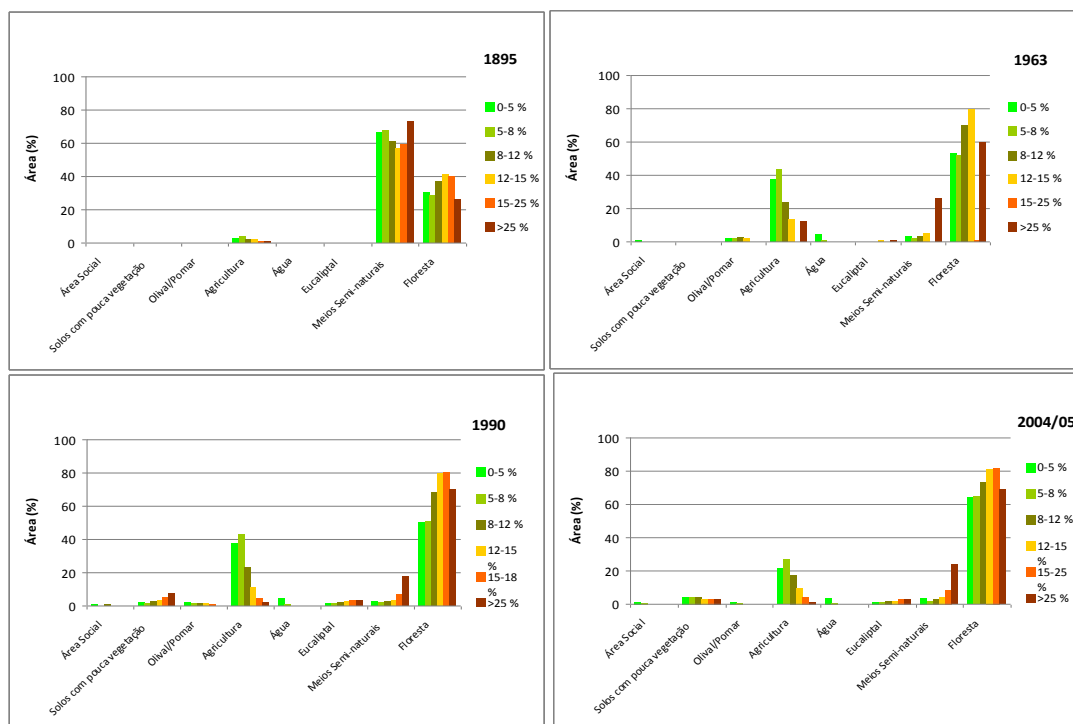


Figura 5.28 - Declive por classes de ocupação do solo.

Em relação à exposição de vertentes ( Figura 5.29) não se nota nenhum padrão em termos das classes de ocupação do solo.

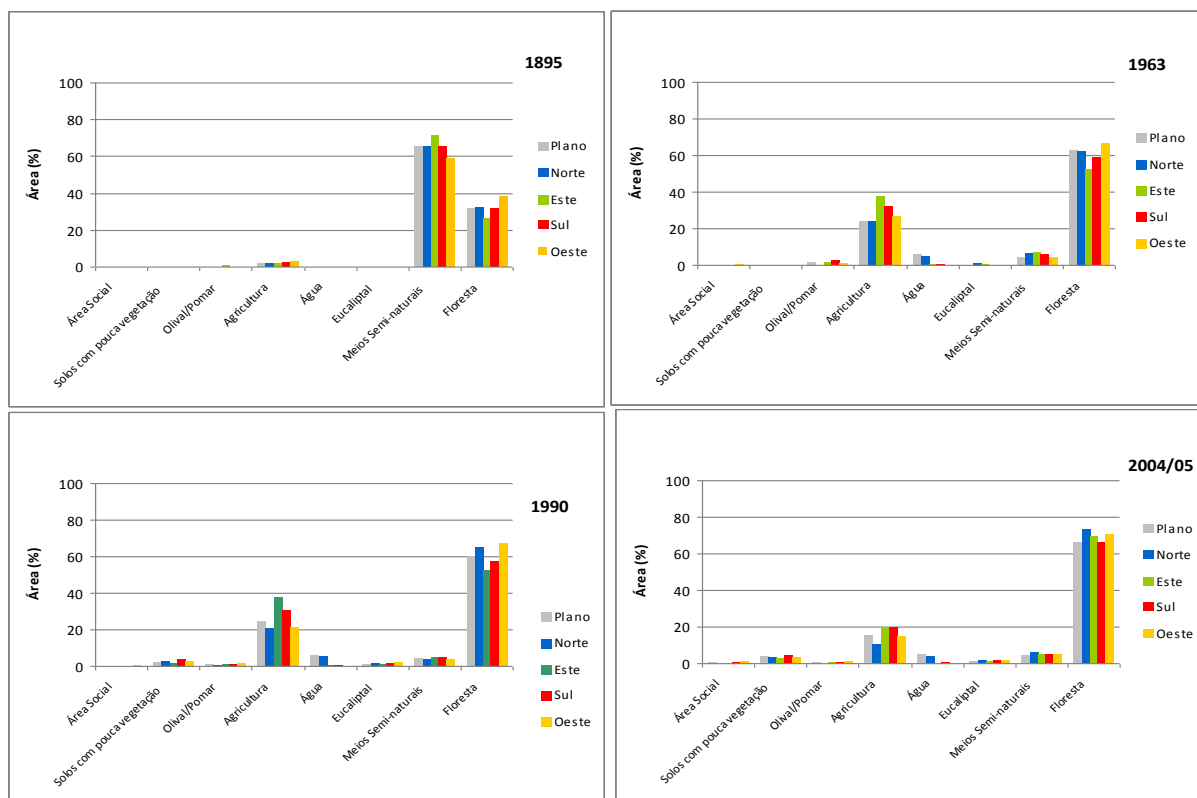


Figura 5.29 - Orientação de vertentes por classes de ocupação do solo.

Pode verificar-se (Figura 5.30) que os meios semi-naturais em 1990 e 2004/05 ocupam, em grande extensão, zonas com elevado teor de humidade do solo. No geral, a agricultura não é praticada em zonas com elevada humidade do solo.

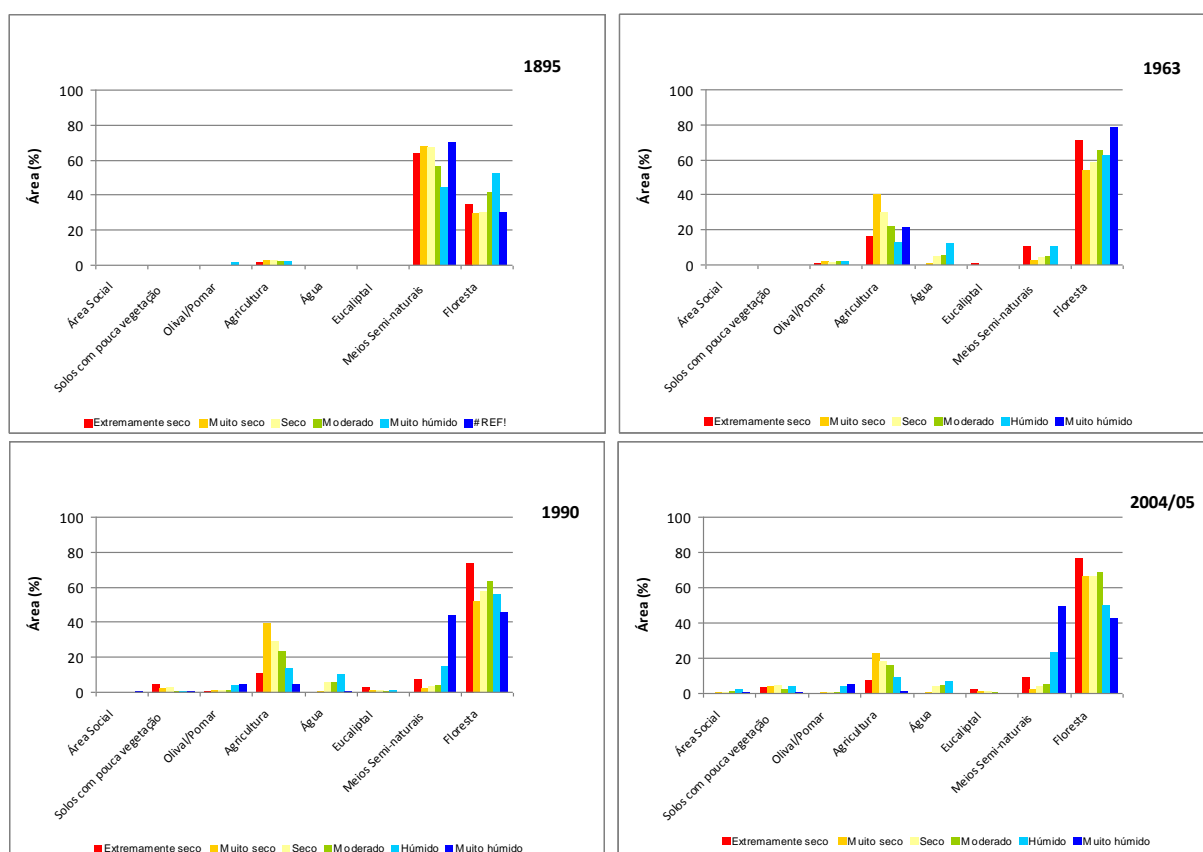


Figura 5.30 - Humidade por classes de ocupação do solo.

Na Figura 5.31 pode observar-se a distribuição das classes de ocupação do solo em função da radiação global. Assinala-se que os meios semi-naturais ocupam, no geral, zonas que recebem uma baixa quantidade de radiação solar.

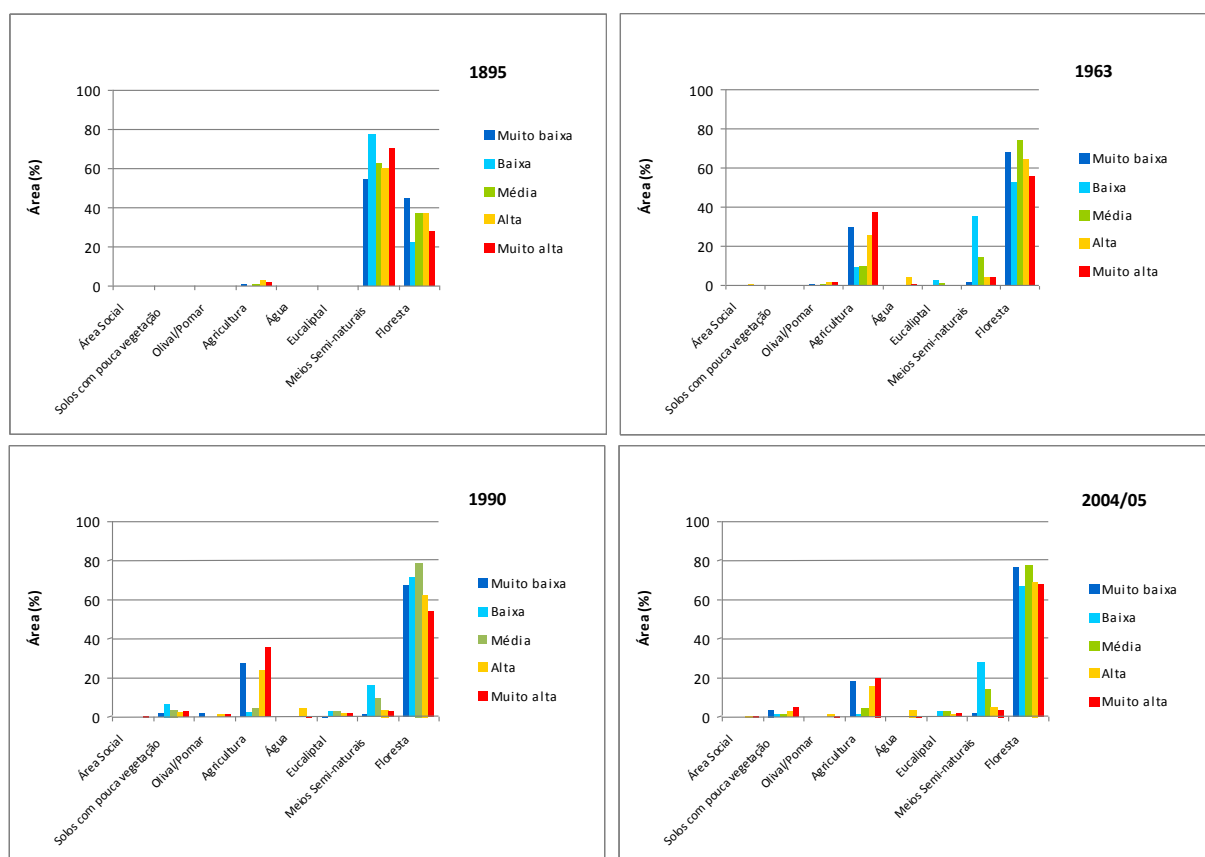


Figura 5.31 - Radiação global por classes de ocupação do solo.

## 5.5 Estimativa da perda de solo através da USLE

Nas figuras seguintes apresentam-se os vários parâmetros da USLE (R, K, C, LS e P) para a bacia hidrográfica em estudo.

### 5.5.1 Factor Erosividade da Precipitação (R)

Apresenta-se na Tabela 5.3 a Precipitação anual referente aos postos pluviométricos usados no processo de interpolação para determinação do valor deste parâmetro para toda a bacia hidrográfica. Pode observar-se que a gama de valores da precipitação é quase de 300 mm.

Tabela 5.3 – Precipitação anual dos postos pluviométricos envolventes da bacia.

Postos Pluviométricos	Precipitação anual (mm)
Alcáçovas	719
Montevil	528
São Martinho	636
Montemor-o-Novo	678
Santiago do Escoural	822

Na Figura 5.32 encontra-se representado o factor Erosidade da Precipitação (R) e na Figura 5.33 o histograma do *raster* correspondente a este factor.

Este factor mostra uma correlação elevada com a precipitação e por sua vez a precipitação encontra-se positivamente correlacionada com a altitude. R toma os valores mais elevados na zona nordeste da bacia hidrográfica e diminui progressivamente para sudoeste. Os valores da Erosividade da Precipitação para a bacia hidrográfica variam entre aproximadamente 1331 e 1580 MJ.mm.ha<sup>-1</sup>.h<sup>-1</sup>.ano<sup>-1</sup>, sendo o valor médio de cerca 1464 MJ.mm.ha<sup>-1</sup>.h<sup>-1</sup>.ano<sup>-1</sup>.

O histograma revela uma distribuição relativamente uniforme dos valores da Erosividade, excepto para os valores inferiores a aproximadamente 1370 MJ.mm.ha<sup>-1</sup>.h<sup>-1</sup>.ano<sup>-1</sup>, que se encontram menos representados.



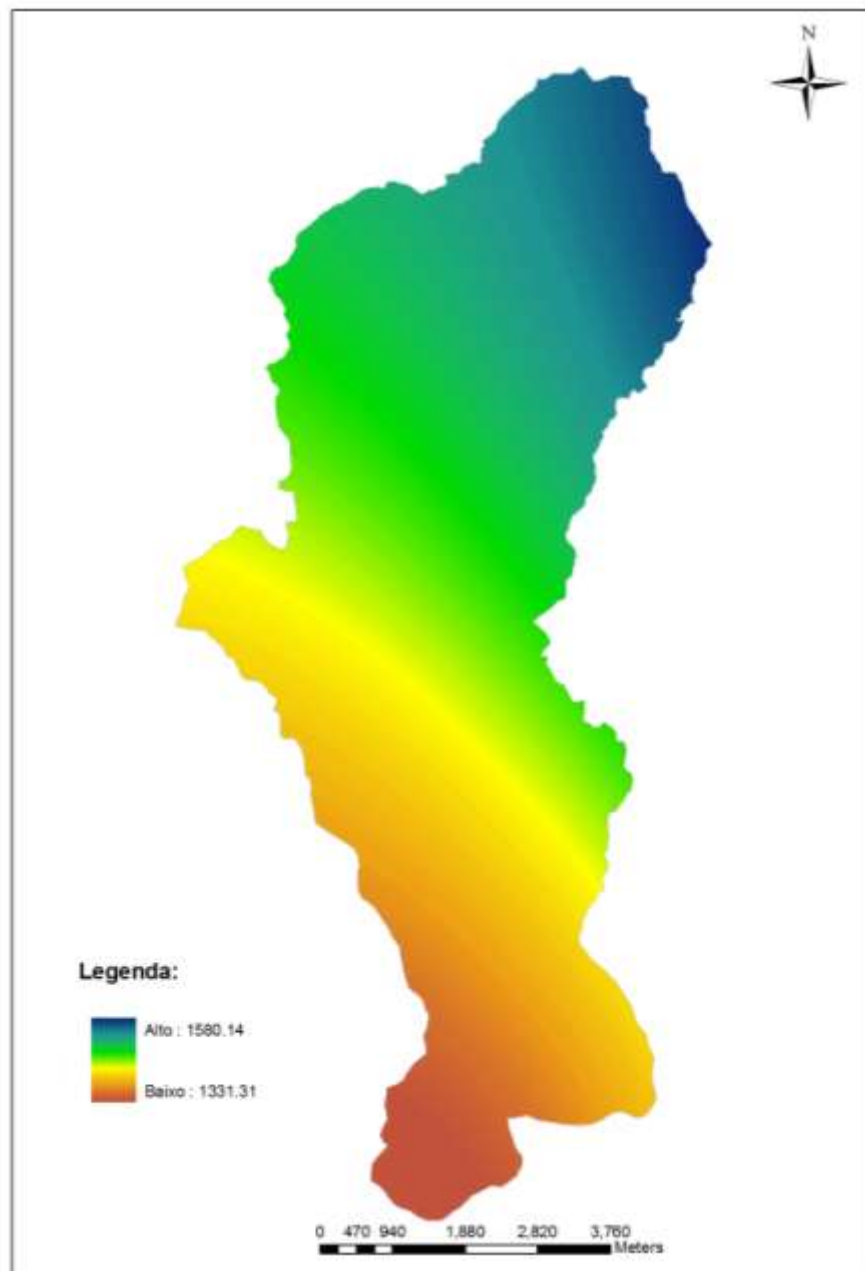


Figura 5.32 - Erosividade da Precipitação (R) expressa em  $\text{MJ.mm.ha}^{-1}.\text{h}^{-1}.\text{ano}^{-1}$ .

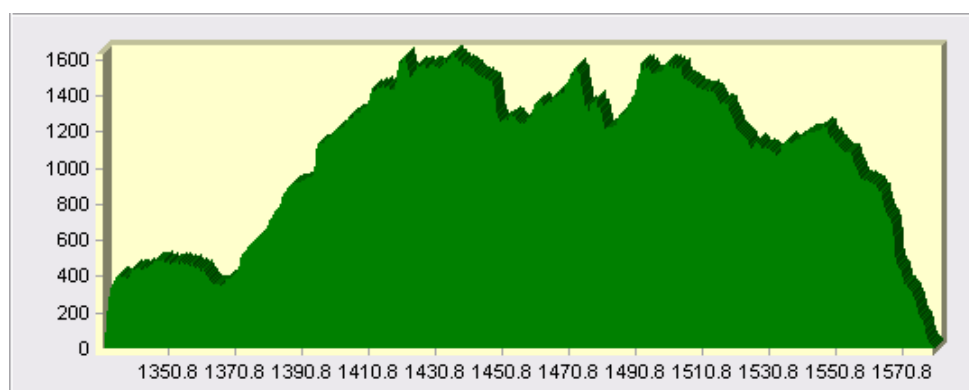


Figura 5.33 - Histograma do *raster* relativo à Erosividade da Precipitação ( $\text{MJ.mm.ha}^{-1}.\text{h}^{-1}.\text{ano}^{-1}$ ).

### 5.5.2 Factor Erodibilidade do Solo (K)

A Figura 5.34 apresenta a Erodibilidade do solo (K) na área em estudo e a Figura 5.35 o histograma do *raster* correspondente a este factor. Pode observar-se a existência de valores elevados da erodibilidade na zona do nordeste, centro e sul, separados por zonas que apresentam valores mais baixos. O histograma revela a dominância do valor  $0.035 \text{ t ha h ha}^{-1} \text{ MJ}^{-1} \text{ mm}^{-1}$  para a erodibilidade, sendo o valor médio de  $0.031 \text{ t ha h ha}^{-1} \text{ MJ}^{-1} \text{ mm}^{-1}$ .

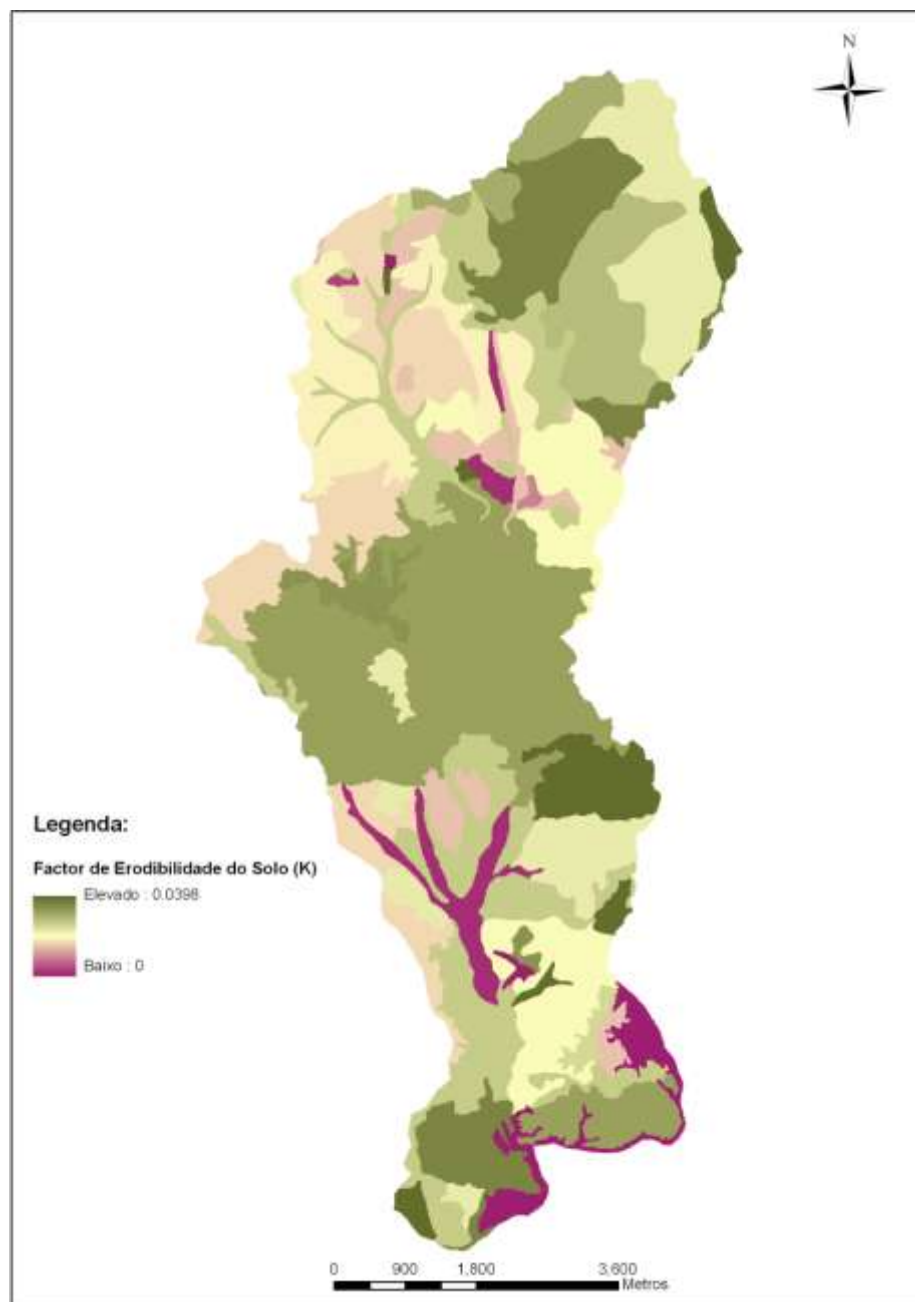


Figura 5.34 - Erodibilidade dos solos ( $\text{t ha h ha}^{-1} \text{ MJ}^{-1} \text{ mm}^{-1}$ ).

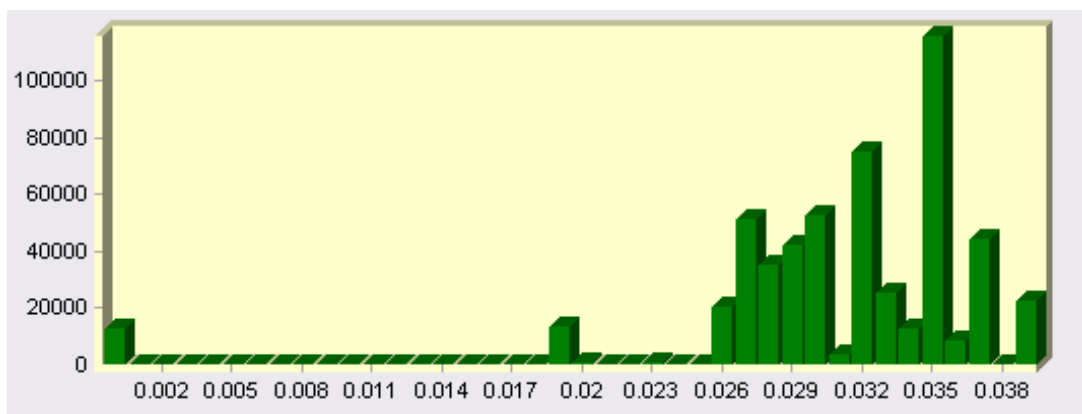


Figura 5.35 - Histograma do *raster* relativo à erodibilidade do solo ( $t\ ha\ h\ ha^{-1}\ MJ^{-1}\ mm^{-1}$ ).

### 5.5.3 Factor de Coberto do Solo (C)

A Figura 5.36 ilustra o factor Coberto do Solo (C) e a Figura 5.37 o histograma do *raster* relativo a este factor para o ano de 1895. No histograma pode observar-se um pico no valor de 0.02, que corresponde à classe dominante na altura, meios semi-naturais. O valor médio deste factor é de 0.052.

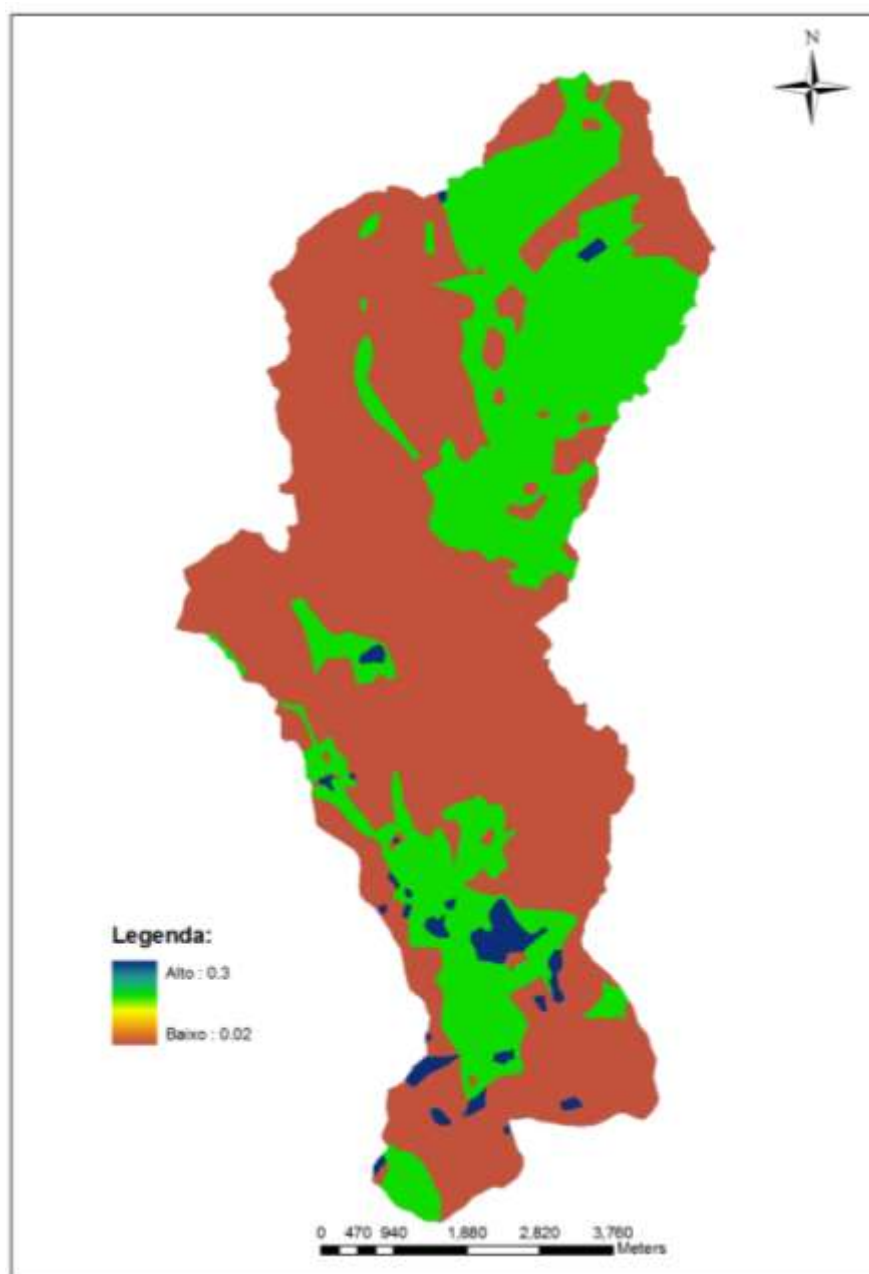


Figura 5.36 - Factor coberto do Solo (C) para 1895.

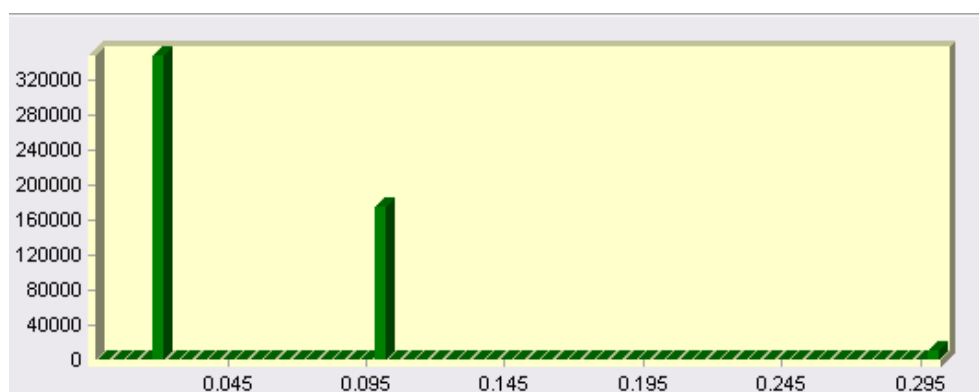


Figura 5.37 - Histograma do *raster* relativo ao factor Coberto do Solo (C) para 1895.

A Figura 5.38 representa o factor Coberto do Solo (C) na área em estudo e a Figura 5.39 o histograma da imagem correspondente a este factor para o ano de 1963. No histograma pode observar-se um pico no valor de 0.1, que corresponde à classe dominante na altura, floresta. O valor médio deste factor é de 0.152.

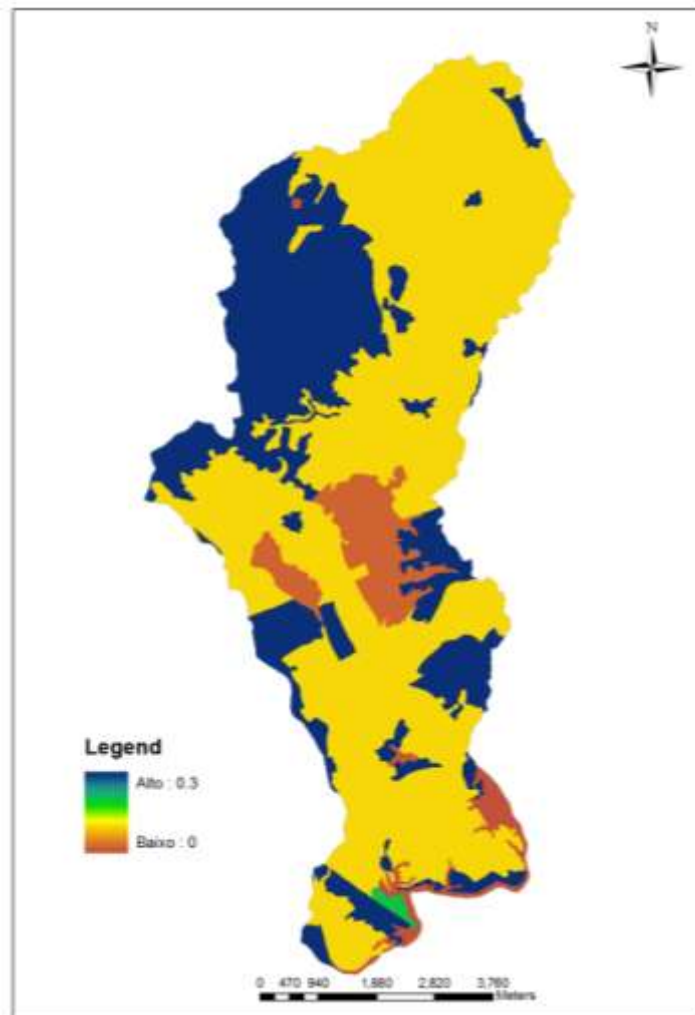


Figura 5.38 - Factor coberto do Solo (C) para 1963.

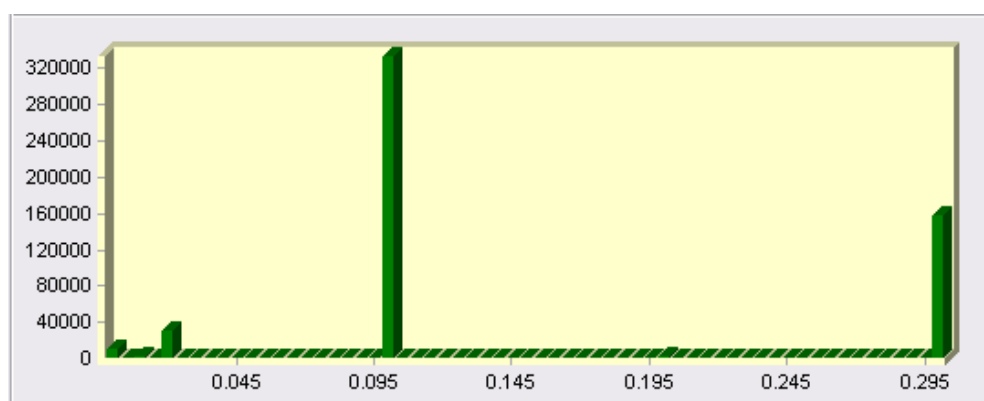


Figura 5.39 - Histograma da imagem correspondente ao factor Coberto do Solo (C) para 1963.

A Figura 5.40 representa o factor Coberto do Solo (C) na área em estudo e a Figura 5.41 o histograma da imagem correspondente a este factor para o ano de 1990. No histograma pode observar-se um pico no valor de 0.1, que corresponde à classe dominante na altura, floresta. O valor médio deste factor é de 0.159.

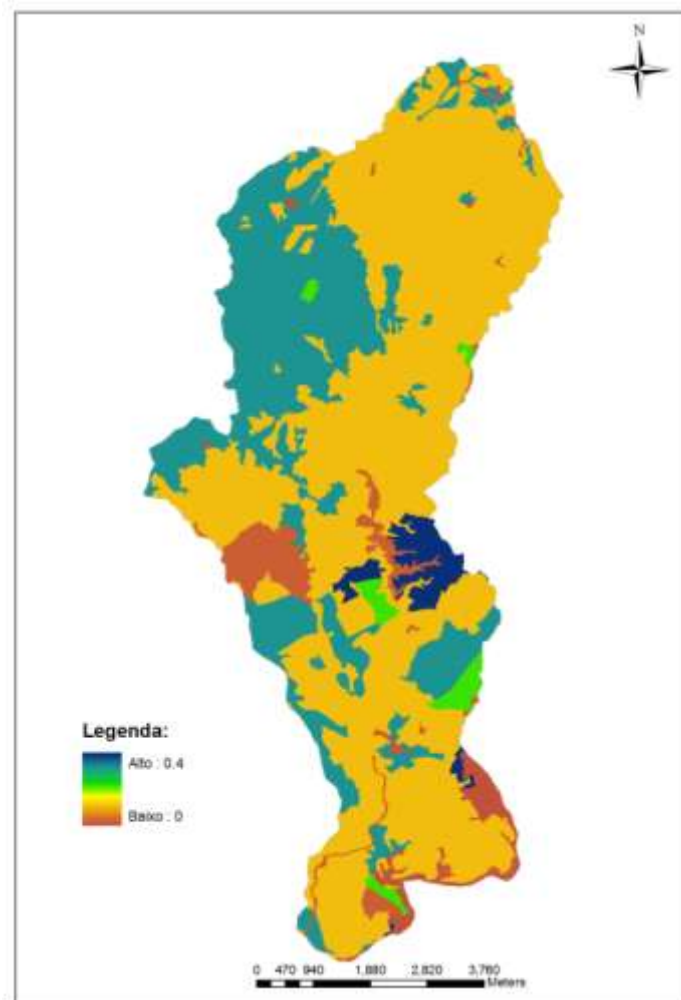


Figura 5.40 - Factor coberto do Solo (C) para 1990.

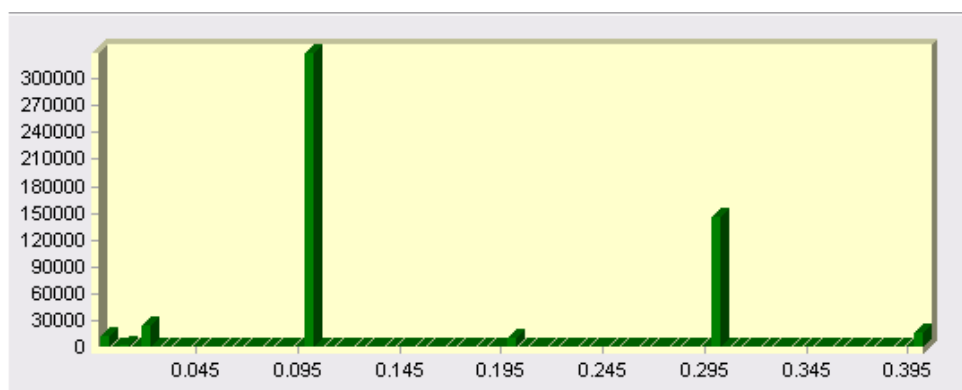


Figura 5.41 - Histograma da imagem correspondente ao factor Coberto do Solo (C) para 1990.

A Figura 5.42 representa o factor Coberto do Solo (C) na área em estudo e a Figura 5.43 o histograma da imagem correspondente a este factor para 2004/05. O histograma é bastante semelhante aos das duas datas anteriores. O valor médio deste factor para esta data é de 0.140.

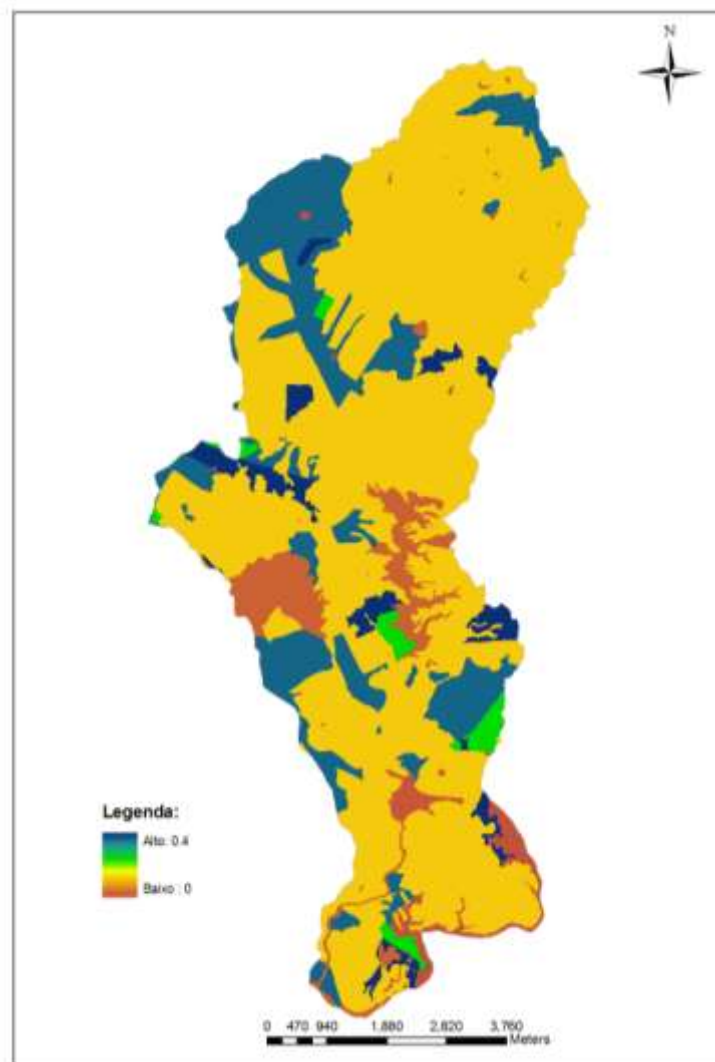


Figura 5.42 - Factor coberto do Solo (C) para 2004/05.

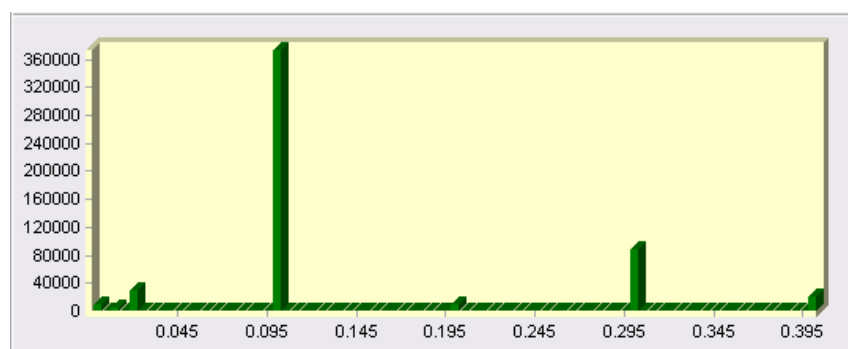


Figura 5.43 - Histograma da imagem correspondente ao factor Coberto do Solo (C) para 2004/05.

### 5.5.4 Factor Topográfico (LS)

A Figura 5.44 apresenta o Factor Topográfico (LS) da área de estudo e a Figura 5.45 o histograma do *raster* relativo a este factor.

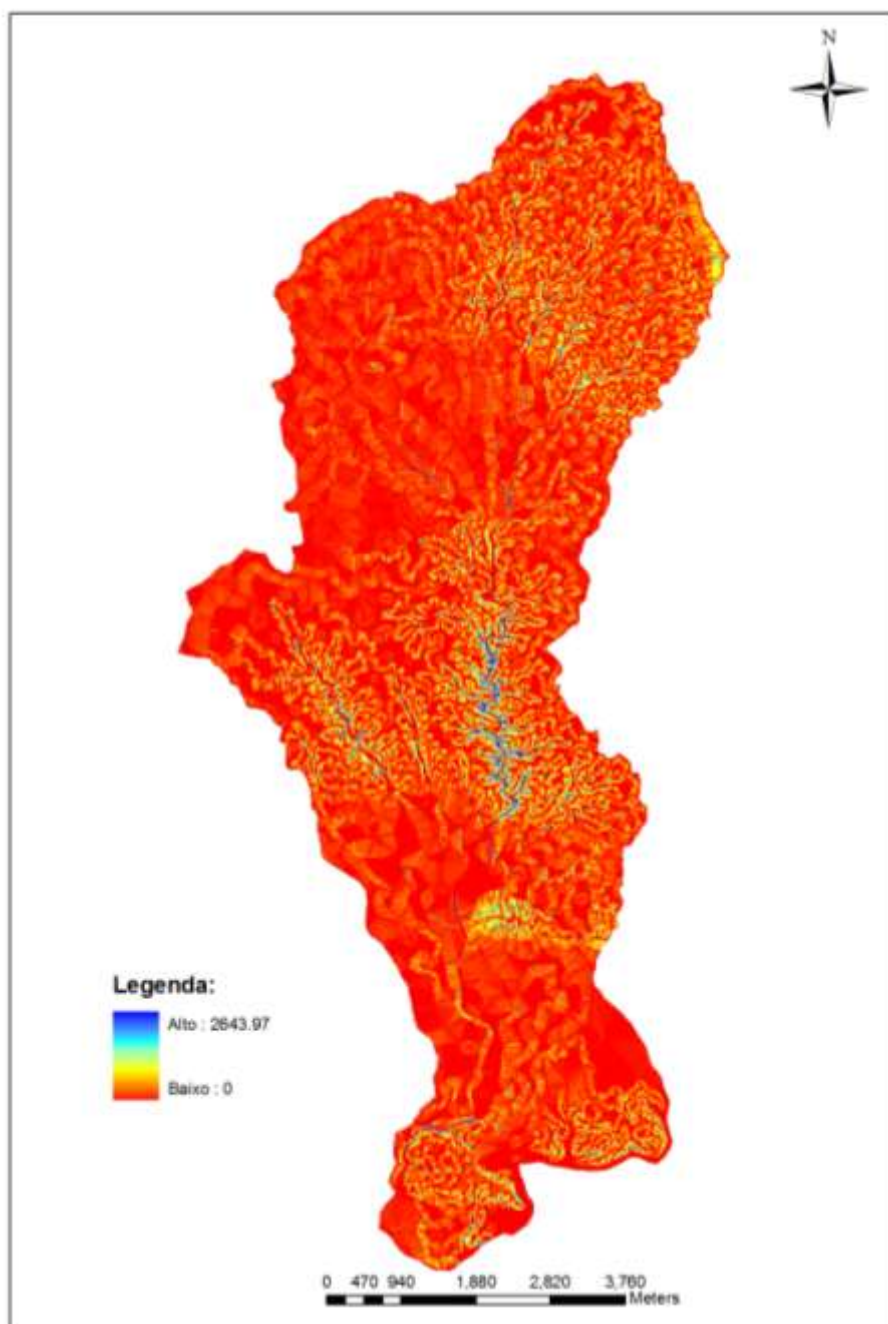


Figura 5.44 - Factor Topográfico (LS).

Na maior parte da bacia hidrográfica ocorrem valores baixos de LS. De facto, o Factor Topográfico é função do declive e, como já foi referido, na maior parte da área de estudo



predominam as zonas planas seguidas das zonas de declive muito moderado. Os valores mais elevados deste parâmetro localizam-se nas vertentes mais inclinadas, principalmente ao longo das linhas de água. O Factor Topográfico varia entre zero e aproximadamente 2644, sendo o valor médio de cerca de 4.5.

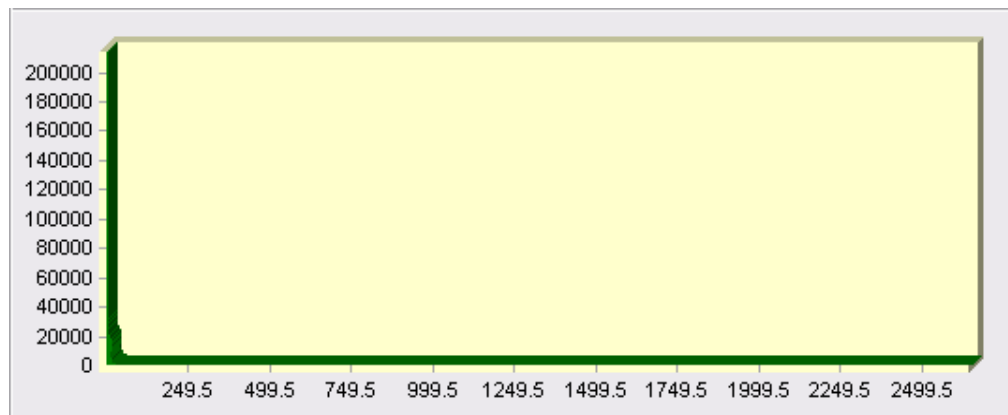


Figura 5.45 - Histograma do *raster* relativo ao Factor Topográfico (LS).

### 5.5.5 Perda de solo

Apresenta-se na Figura 5.46 o risco potencial de perda de solo. Pode observar-se um elevado valor de risco de erosão potencial essencialmente nas zonas mais declivosas e ao longo das linhas de água.

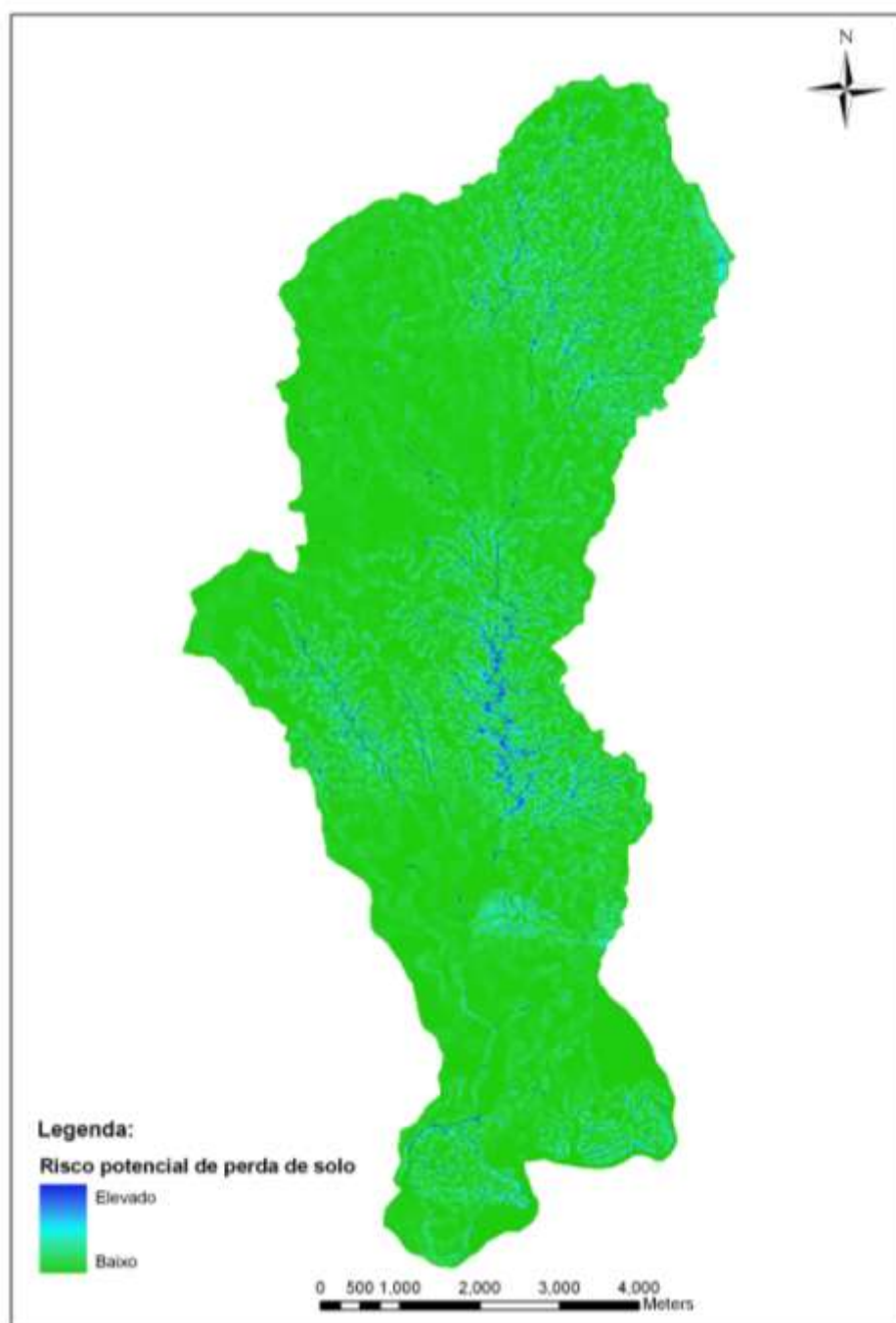


Figura 5.46 – Risco potencial da perda de solo.

A Figura 5.47 apresenta a distribuição espacial da perda de solo da bacia hidrográfica em estudo para as várias datas depois de eliminadas as zonas quer com declive superior a 20% quer as zonas em que o factor L é superior a 122 m.

Verifica-se uma grande variação nos valores da perda de solo na área de estudo, em qualquer das datas analisadas. No geral, uma parte considerável da bacia apresenta valores da perda de solo igual zero, uma área importante manifesta valores baixos enquanto que apenas uma fracção mais pequena exhibe valores elevados da perda de solo. No entanto, a esta pequena fracção correspondem valores bastante elevados, o que faz aumentar o valor médio da perda de solo para a área de estudo. Observa-se uma forte dependência da perda de solo em função do declive, para o caso dos declives elevados, tal como acontece ao longo das principais linhas de água e na zona norte e sul da bacia. Para as zonas de declive não tão acentuado a perda de solo parece estar muito dependente do tipo de coberto vegetal.

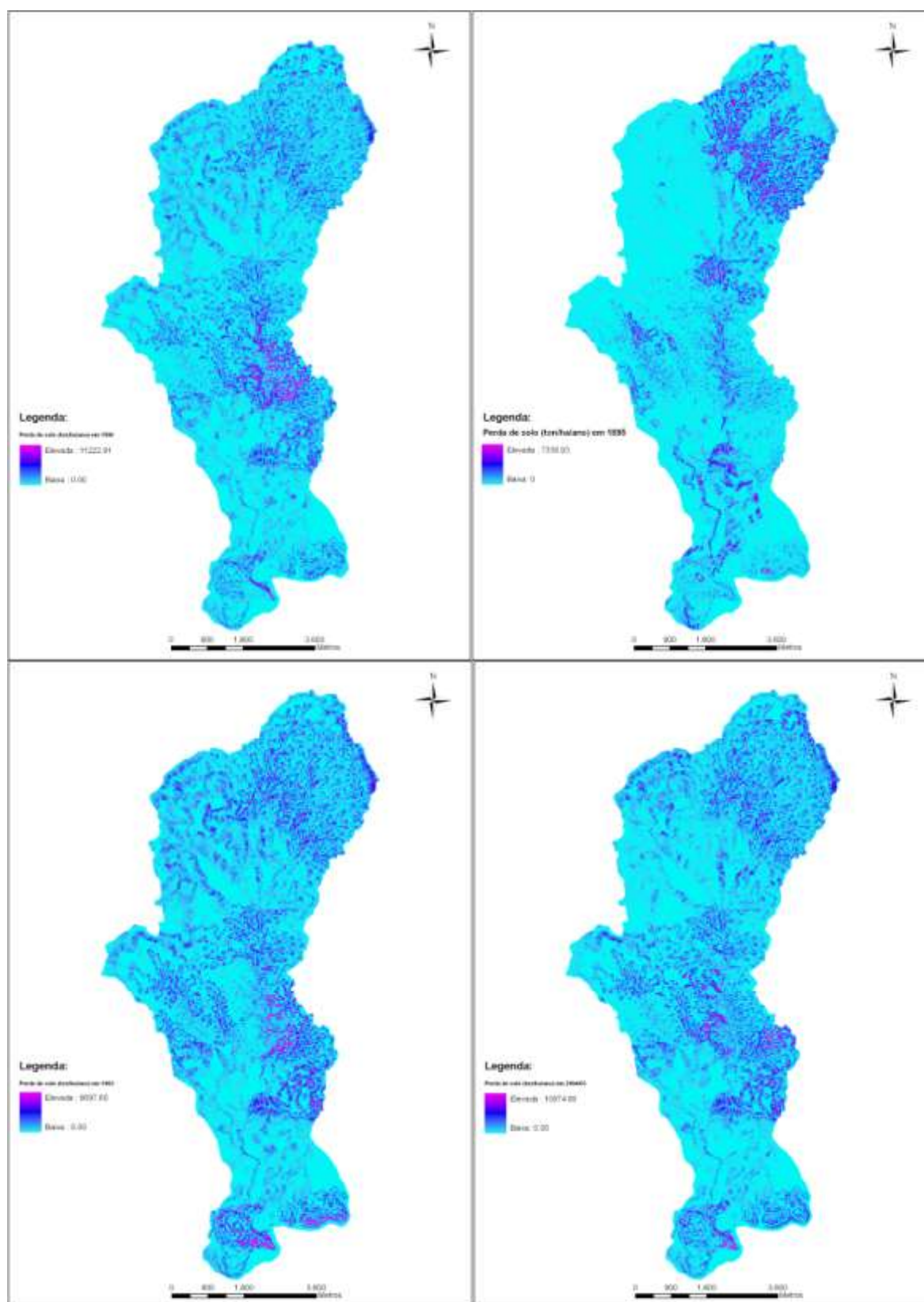


Figura 5.47 - Perda de solo para as várias datas em análise ( $t\ ha^{-1}ano^{-1}$ ).

### ***Evolução da perda de solo***

A Figura 5.48 permite observar a variação da perda de solo ao longo do período de tempo em estudo.

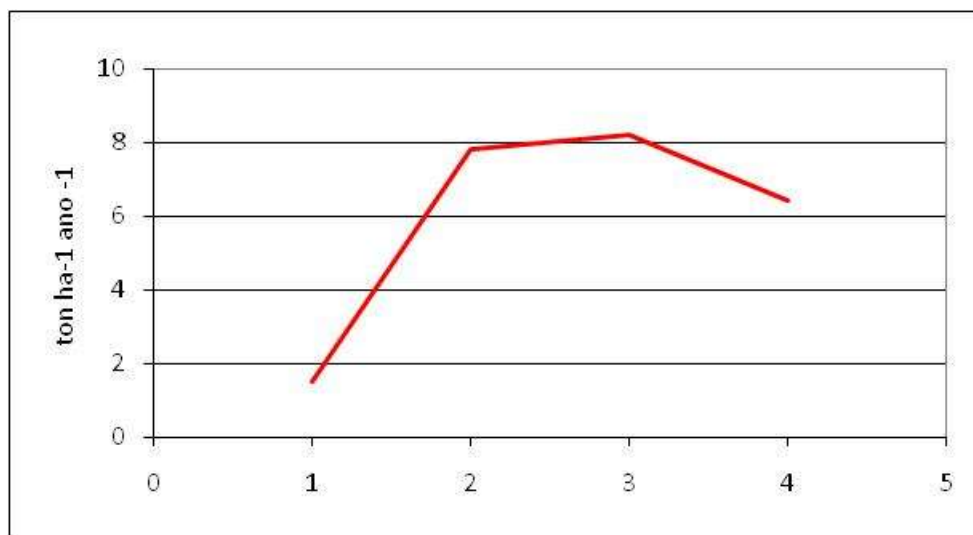


Figura 5.48 - Evolução da perda de solo média para a área de estudo.

A perda de solo expressa em  $t\ ha^{-1}ano^{-1}$  era:

em 1895, em termos de valor de mediana, de 1.5

em 1963 em termos de valor de mediana de 7.8

em 1990 em termos de valor de mediana de 8.2

em 2004/05 em termos de valor de mediana de 6.4

A perda de solo em 1895 era relativamente baixa. Em 1963 verifica-se uma acelerada perda de solo. A perda de solo aumentou ligeiramente em 1990 mas em 2004/05 voltou a diminuir para valores próximos dos de 1963.

## 6 Discussão

As transformações da paisagem descritas neste estudo estão de acordo com o que ocorreu para o sul do país, retratado em trabalhos como os de Feio (1998) e já referido.

A análise biofísica realça a existência de algumas zonas com características que vão potenciar a perda de solo: nordeste (com altitudes mais elevadas) e zona central correspondente aos vales do Ribeiro do Canas e da Ribeira de Santa Susana. De facto, a carta da erosão potencial revela claramente estas zonas como potenciadoras de elevada perda de solo. Acrescenta-se que nestas zonas os solos são no geral solos de baixo valor ecológico, solos pouco férteis e delgados, apresentando ainda pedregosidade elevada.

Em 1895 a zona nordeste da área de estudo está ocupada essencialmente por floresta (montados) mas a zona central encontra-se coberta por charnecas e matos. Em 1963 as zonas de elevada perda de solo encontram-se praticamente ocupadas por montados, apenas uma pequena área está revestida por vegetação semi-natural, como resultado do abandono da agricultura. Esta área corresponde, de facto, a uma das zonas de declive mais acentuado de toda a área de estudo. Em 1990 a zona nordeste continua a ser ocupada por floresta, mas na zona central existem áreas pertencentes à classe “solos com pouca vegetação”. Estas áreas correspondem, no geral, a zonas de implantação de eucaliptais. Em 2004/05 não há grandes alterações em relação à data anterior.

Foi referido que os meios semi-naturais (excepto em 1895) ocupam, no geral, zonas com declive acentuado. De facto, esta classe passou a ocupar as zonas mais declivosas, deixadas

ao abandono pela agricultura. A capacidade de regeneração da vegetação é relativamente elevada nesta região do sul do país, pois, num período de cerca de 50-60 anos, o coberto vegetal destas zonas quase que alcançou o clímax climático. Verifica-se assim, que estas comunidades vegetais têm tido um importante papel na protecção do solo contra a erosão, devendo, portanto, ser protegidas. Por outro lado, como já citado, os meios semi-naturais ocuparem, no geral, zonas que recebem uma menor quantidade de radiação solar. De facto, estas zonas declivosas correspondem essencialmente aos vales encaixados das principais linhas de água, ocupados no auge da cerealicultura mas das primeiras zonas a serem abandonadas. Os meios-seminaturais em 1990 e 2004/05 ocupam, em grande extensão, zonas com elevado teor de humidade do solo, zonas que correspondem a vegetação ribeirinha que recuperou.

Também foi relatado que a agricultura, no geral, é praticada (excepto em 1895) em zonas menos declivosas. De facto, a partir de um determinado período, as culturas cerealíferas foram abandonadas nas zonas com menor produtividade, exactamente as zonas mais declivosas e portanto com os solos mais delgados e menor capacidade de retenção de água.

Chama-se a atenção de que tem havido uma tendência para a implantação de eucaliptais em zonas declivosas, o tem implicações graves na perda de solo. Na fase de instalação do eucaliptal havia, no geral, uma grande mobilização do terreno com alterações por vezes importantes no próprio relevo do terreno, mobilizações essas que levavam à destruição da vegetação. Todos estes factos fazem aumentar grandemente o risco de erosão para este tipo de ocupação florestal. Acrescenta-se o facto dos eucaliptais serem instalados em solos com baixo valor ecológico, portanto solos com baixa produtividade. Estas zonas deveriam ser

ocupadas por vegetação natural que protege o solo e que está adaptada às condições biofísicas locais.

Verifica-se que, na maior parte da bacia hidrográfica, os valores da perda de solo são bastante baixos, como já foi referido, os valores elevados ocorrendo numa percentagem relativamente baixa da área de estudo. Torna-se necessário garantir que nestas zonas haja uma protecção adequada do solo em termos de coberto vegetal, principalmente formações com vegetais naturais. Se eventualmente for praticada agricultura ou silvicultura, deve-se garantir que são seguidas as práticas culturais mais adequadas.





## 7 Conclusões e considerações finais

Neste trabalho a USLE foi usada para calcular a perda de solo por erosão laminar pois, ao contrário de metodologias mais recentes, necessita apenas de poucos parâmetros de entrada e o seu cálculo é simples. A incorporação da USLE com SIG permite não só calcular as taxas de perda de solo com base nas características biofísicas da zona como também avaliar a heterogeneidade espacial da erosão. Por isso, esta equação e as suas derivadas continuam a ser das mais usadas em todo o mundo para a determinação da taxa de erosão.

No entanto, a USLE não foi inicialmente concebida para ser incorporada em SIG, enquanto que há modelos mais recentes que incorporam, na sua concepção, a variação espacial dos parâmetros biofísicos que influenciam a perda de solo e consequentemente a variação espacial da taxa de erosão.

Gostaria de referir, em seguida, algumas limitações do presente trabalho.

Em primeiro lugar chama-se a atenção para o cálculo do factor LS. Usou-se o valor de 122 m para o limite a partir do qual a água resultante do escoamento superficial começa a concentrar-se em canais, ou seja, a partir do qual a erosão deixa de ser erosão laminar e passa a ser erosão concentrada. Este foi um valor obtido na pesquisa bibliográfica. No entanto, será necessária uma análise mais aprofundada da morfologia da área de estudo, para verificar se este será, de facto, o valor mais adequado.

Em relação ao declive, foram excluídas da análise zonas com declive superior a 20%, pois a USLE não é apropriada a estes casos. Assim, nestas situações torna-se necessário aplicar

equações desenvolvidas para declives mais acentuados por forma a que a perda de solo seja, de facto, obtida para o total da bacia hidrográfica.

Foi efectuada uma compatibilização da legenda das várias cartas referentes à ocupação do solo, como foi referido anteriormente. No entanto, as cartas iniciais foram concebidas com diferentes finalidades. Por exemplo, a Carta Agrícola e Florestal de Portugal (1963) centra-se na identificação de usos rurais, enquanto que a Carta de Ocupação do Solo (1990) enfatiza o espaço urbanizado (Lavrador e Rocha, 2004). Foi referido que algumas zonas no limite da albufeira do Pego do Altar que não possuem vegetação (ficam cobertas e descobertas pela água consoante o nível da albufeira) foram incluídas na classe “Solos com pouca vegetação” em 1990, enquanto que, em 1963, encontravam-se abrangidas na classe “Agricultura”. Portanto, poderá ser necessária uma pesquisa mais aprofundada sobre a conceptualização das cartas das várias datas.

Apesar da informação inicial referente à ocupação do solo estar em escalas diferentes, não foi efectuado qualquer processo de generalização cartográfica, como também já foi citado. No futuro este será um aspecto a desenvolver, pois é essencial em estudos que utilizam informação cartográfica a escalas diferentes.

Seria também muito importante acrescentar novas datas à ocupação do solo, principalmente do período entre 1895 e 1963, altura em que ocorreram mudanças mais acentuadas na estrutura da paisagem.

Foi usada como base da altimetria uma carta à escala 1:25000. No entanto, a utilização de cartas de base com maior pormenor possibilitará uma melhor descrição da morfologia do terreno e portanto uma melhoria da estimativa dos processos de erosão.

A aplicação da Equação Geral de Perda de solo no cálculo da perda de solo apresenta várias limitações. Em primeiro lugar, a EUPS dá uma estimativa da perda de solo em termos brutos, e só calcula a erosão em sulcos, enquanto que a erosão em ravinas não é contabilizada. Para além disso, se alguns dos factores tiverem valor superior a zero, o valor estimado para erosão também será superior a zero, mesmo que o seu valor for igual a zero. Em acréscimo, alguns factores que influenciam a erosão dos solos, não são contabilizadas. Em primeiro lugar, o efeito das pedras e fragmentos de rocha não é incluído. Römken (1985) sugere que o efeito da pedregosidade deveria ser incorporada no factor C da USLE, porque as pedras exercem o mesmo efeito que a biomassa, na protecção da superfície dos solos.

No que diz respeito ao cálculo do factor de Erodibilidade da Precipitação, foi seleccionada uma equação desenvolvida para Portugal, com base em três estações: Lisboa, Oeiras e Mértola. No entanto, poderá haver equações mais apropriadas à zona de estudo. Chama-se a atenção para o facto de que no cálculo deste factor foram usados valores de precipitação referentes a períodos de tempo que variaram entre os vários postos udométricos, mas que não abrangem todo o intervalo temporal considerado no presente estudo. Portanto, estes dados não contemplam eventuais alterações climáticas.

O factor de práticas conservacionistas não foi incluído no cálculo da USLE uma vez que não foi encontrada informação sobre as práticas de laboração do solo para as várias datas em análise. Poder-se-á realizar uma pesquisa mais aprofundada no sentido de encontrar informação sobre estratégias e técnicas de conservação do solo.

Um aspecto importante é o facto de muitas das classes de ocupação corresponderem a polígonos de pequena dimensão e portanto eventualmente alterações na sua representatividade poderem estar associadas a imprecisões na localização dos polígonos

correspondentes nas cartas de ocupação. De facto, cinco das oito classes de ocupação do solo detêm uma representatividade inferior a 4% em qualquer dos períodos em análise.

A Carta Agrícola do Reino (1895) é uma carta antiga, pelo que o processo de vectorização e colocação das legendas teve as seguintes limitações: as cores encontram-se “gastas” pelo tempo, alguns polígonos são muito pequenos, os símbolos da legenda encontram-se por vezes distorcidos, por vezes há diferenças entre a cor do polígono e o símbolo da legenda, há polígonos que não têm símbolo associado. De referir ainda que, em muitos casos, há um desfasamento entre os limites dos polígonos, traçados a linha, e a mancha de cor dos polígonos.

Alguns *inputs* do modelo precisarão eventualmente de calibração, como é o caso do factor erodibilidade do solo, com consulta de novos trabalhos.

Seria interessante fazer uma previsão para o futuro do cenário da ocupação do solo, mas o pouco tempo disponível impediu a realização desta tarefa.

Contudo, espero que as limitações referidas possam dar origem a novos desenvolvimentos e aplicações, e deste modo fomentar o aparecimento de novos trabalhos. Por tudo isso, espero com este trabalho alcançar, uma abertura para um campo fértil de pesquisas na área da ocupação e uso do solo.

## 8 Referências bibliográficas

Abreu, A. C., Correia, T. P. e Oliveira, R. (2004). *Contributos para a identificação e caracterização da paisagem em Portugal Continental*. Vol. I-V, Direcção Geral do Ordenamento do Território e Desenvolvimento Urbanístico, Lisboa.

Arsénio, P. M. R. (1997). *Aproximação às metodologias de cartografia da vegetação. Aplicação à vegetação de Mombaja*. Relatório do Trabalho de Fim de Curso de Arquitectura Paisagista, Universidade Técnica de Lisboa, Instituto Superior de Agronomia.

Arsénio, P., Costa, J. C., Dias, S., Diogo, M. C., Ferreira, J. P. L., Fonseca, M. P., Henriques, M. J., Jorge, C., La-Grange, P. M., Leitão, T. E., Lousã, M. F., Moinante, M. J., Moreira, P., Nazareth, A., Nazareth, M., Novo, M. E., Oliveira, M. M., Pinheiro, A., Portela, M., Rodrigues, P., Santo, M. D. E., Santos, D. e Simas, M. J. (1999). *Plano de Bacia Hidrográfica do Rio Tejo, 1ª Fase, Análise e Diagnóstico da Situação de Referência, Anexo Temático 1 – Análise Biofísica*. Ministério do Ambiente, Instituto da Água, 188 pp.

Atlas Digital do Ambiente – DGA; <http://www.iamambiente.pt/atlas>

Beven, K. J. e Kirby, M. J. (1979). A physically based, variable contributing area model for basin hydrology. *Hydrol. Sci. Bulletin*, 24: 43-69.

Botelho da Costa, J. (1952). *A água no solo*. Livraria Sá da Costa, Lisboa.

Comissão Nacional do Ambiente. (1985). *Notícia explicativa da carta agrícola e florestal - grandes grupos de utilização do solo*. Atlas do Ambiente. Lisboa.

Correia, A. V. e Oliveira, A. C. (2002). *Principais espécies florestais com interesse para Portugal. Zonas de influência mediterrânica*. Direcção Geral das Florestas, Lisboa, 119 pp.

Costa, J. C., Aguiar, C., Capelo, J. H., Lousã, M. e Neto, C. (1998). Biogeografia de Portugal Continental. *Quercetea*, 0: 5-56.

Costa, J. C., Espírito Santo, M. D., Lousã, M., González, P. M. R., Capelo, J. e Arsénio, P. (2002). *Flora e Vegetação do Divisório Português – Excursão Geobotânica ao Costeiro Português, Olissiponense e Sintrano*. In: Jardins Botânicos – Que Perspectiva para o Futuro – VII Simpósio da Associação Ibero-Macaronésica de Jardins Botânicos. Lisboa. pp. 249 – 335.

Dias, M. H. (1999). As vicissitudes das séries topográficas e temáticas: um tetrato da cartografia portuguesa contemporânea. *Finisterra*, XXX, 59-60: 57-76.

Feio, M. (1998). *A Evolução da Agricultura no Alentejo Meridional. As Cartas Agrícolas de G. Pery. As Díficeis Perspectivas Actuais na Comunidade Europeia*. Edições Colibri, Lisboa.

Ferreira, P. J. Z. M. G. (1997). *Dinâmica da paisagem*. Tese de Mestrado em Gestão dos Recursos Naturais. Universidade Técnica de Lisboa, Instituto Superior de Agronomia, 80 pp.

Ferreira, J. C. (1999). *Vulnerabilidade e Risco Biofísico em Áreas Costeiras. O Arco Litoral Caparica–Espichel*. Dissertação de Mestrado em Geografia Física e Ambiente, Universidade de Lisboa, Lisboa, pp. 148.

Fu, P. e Rich, P.M. (2000). *A geometric solar radiation model and its applications in agriculture and forestry*. Second International Conference on Geospatial Information in Agriculture and Forestry.

Hickey, R. (2000). Slope angle and slope length solutions for GIS. *Cartography*, 29: 1-8.

Instituto de Hidráulica, Engenharia Rural e Ambiente, DSRNAH, DIVISÃO DE SOLOS. (1999). *Nota Explicativa da Carta dos Solos de Portugal e da Carta de Capacidade de Uso do Solo*. Versão Digital consultada em 25 de Fevereiro de 2007.

Instituto Nacional de Meteorologia e Geofísica. (1991). *O Clima de Portugal. Normais climatológicas da região de Alentejo e Algarve, correspondentes a 1951-1980. Fascículo XLIX, vol. 4-4ª Região*. Instituto Nacional de Meteorologia e Geofísica, Lisboa.

Irvem, A., Topaloglu, F. e Uygur, V. (2007). Estimating spatial distribution of soil loss over Seyhan River Basin in Turkey. *Journal of Hydrology*, 336: 30-37. Lavrador, A. e Rocha, J. (2004). *Paisagem transfigurada: análise qualitativa e quantitativa da Bacia Hidrográfica da Ribeira de Colares*. V Congresso da Geografia Portuguesa. Portugal: territórios e protagonistas. 14-16 Outubro 2004, Guimarães.

Lencastre, A. e Franco, F. M. (2003). *Lições de Hidrologia*. Ed. Fundação Armando Lencastre. Lisboa.

Lobo Ferreira, J. P. C., Moinante, M. J., OLIVEIRA, M. M., Leitão, T. E., Novo, M. E., Moreira, P. e Henriques, M. J. (2001). *Plano de Bacia Hidrográfica do Rio Sado – 1.ª Fase. Análise e diagnóstico da situação actual. Parte V - Análise da Fauna, Flora e Vegetação*. Lisboa.

Lopes, J. (2005). *Generalização cartográfica*. Dissertação submetida para a obtenção do Grau de Mestre em Ciências e Engenharia da Terra, Faculdade de Ciências da Universidade de Lisboa.

Magalhães, M. R. (1996). *Morfologia da Paisagem*. Instituto Superior de Agronomia, Lisboa.

Magalhães, M. R., Abreu, M. M., Lousã, M., Cortez, N., Silva, P. G., Cunha, N. S., Campo, S. L. & al. (2001). *Plano Verde do Concelho de Loures 1ª Fase*. Instituto Superior de Agronomia, Secção Autónoma de Arquitectura Paisagista, Lisboa.

Moore, I. e Wilson, P. (1992). Length-slope factors for the revised universal soil loss equation: simplified method of estimation. *Journal of Soil Water Conservation*, 47: 423-428.



Nunes, J. P., Vieira, G. N., Seixas, M. J., Gonçalves, P. e Carvalhais, N. (2002). *Informação Geográfica e Modelação Ambiental. Simulação da erosão hídrica causada por eventos extremos: um caso de interdependência entre modelação e tecnologias de informação geográfica*. VII Encontro de Utilizadores de Informação Geográfica, 13-15 Novembro 2002, Oeiras.

Panagopoulos, T. e Antunes, M. D. C. (2008). Integrating Geostatistics and GIS for Assessment of Erosion Risk on Low Density *Quercus suber* Woodlands of South Portugal. *Arid Land Research and Management*, 22: 159–177.

Pimenta, M.T. (1998a). *Caracterização da erodibilidade dos solos a Sul do rio Tejo*. Instituto da Água (INAG/DSRH), Lisboa. Disponível em [http://snirh.inag.pt/snirh/estudos\\_proj/portugues/docs/desertificacaofichas.html](http://snirh.inag.pt/snirh/estudos_proj/portugues/docs/desertificacaofichas.html). Acesso em 22 Set. 2009.

Pimenta, M. T. (1998b). *Directrizes para a Aplicação da Equação Universal de Perda dos Solos em SIG - Factor de Cultura C e Factor de Erodibilidade do Solo K*. Instituto da Água (INAG/DSRH). Lisboa. Disponível em [http://snirh.inag.pt/snirh/estudos\\_proj/portugues/docs/desertificacaofichas.html](http://snirh.inag.pt/snirh/estudos_proj/portugues/docs/desertificacaofichas.html). Acesso em 22 Set. 2009.

Plano da Bacia Hidrográfica (PBH) do Rio Sado. Anexo Temático 1: *Análise Biofísica – Parte 1: Análise Geomorfológica*. (1999). Disponível em: [http://www.ccdra.gov.pt/app/pbhsado/fase1\\_anexo\\_tematico1\\_parte1\\_analise\\_geomorfologica.pdf](http://www.ccdra.gov.pt/app/pbhsado/fase1_anexo_tematico1_parte1_analise_geomorfologica.pdf). Acesso em 05 de Abril de 2009.

Ranieria, S. B. L., van Liera, Q. De J., Sparoveka, G. e Flanaganb, D. C. (2002). Erosion database interface (EDI): a computer program for georeferenced application of erosion prediction models. *Computers & Geosciences*, 28: 661–668.

Ribeiro, C. e Delgado, N. (1868). *Relatorio acerca da Arborisação Geral do Paiz*. Typographia da Academia Real das Sciencias, Lisboa.

Rivas-Martínez, S., Lousã, M., Díaz, T. E., Fernández-González e Costa, J. C. (1990). La vegetación del sur de Portugal (Sado, Alentejo y Algarve). *Itinera Geobotánica*, 3: 5-126.

Tomás, P. M. P. P. (1992). *Estudo da Erosão Hídrica em Solos Agrícolas: Aplicação à Região Sul de Portugal*. Tese de Mestrado, Instituto Superior Técnico, Universidade Técnica de Lisboa.

Tomás, P e Coutinho, M. (1993). *Erosão hídrica dos solos em pequenas bacias hidrográficas: aplicação da equação universal de degradação de solos*. Publicação nº 7/93, CEHIDRO – Centro de Estudos de Hidrossistemas, Instituto Superior Técnico, Lisboa.

Yue-qing, X., Jian, P. e Xiao-mei, S. (2009). Assessment of soil erosion using RUSLE and GIS: a case study of the Maotiao River watershed, Guizhou Province, China. *Environmental Geology*, 56: 1643-1652.